

靶式流量计动态标定装置设计方案的探讨

Investigation of the Design Scheme for Dynamic Calibration Device of the Target Flowmeter

解海艇 黄富贵 王焕玲

(华侨大学机电及自动化学院,福建 厦门 361021)

摘要: 针对靶式流量计在非定常流中无法确保其准确度与可靠性的问题,阐述了对靶式流量计进行动态标定的必要性。基于对靶式流量计结构特点与工作原理的认识,提出对靶式流量计进行动态标定的三种装置设计方案。根据标定信号的类型,将三种方案分为随机信号法、脉冲信号法和负阶跃信号法。通过对这三种信号标定装置设计方案的优缺点的比较,得出负阶跃信号法为最佳设计方案。负阶跃信号法具有简单可靠、可行性高且成本低廉等特点,可实现靶式流量计的动态标定。

关键词: 靶式流量计 动态标定 标定装置 随机信号 脉冲信号 负阶跃信号

中图分类号: TH814 **文献标志码:** A

Abstract: In unsteady flow, the accuracy and reliability of target flowmeter are unable to be ensured, aiming at this problem, the necessity of dynamic calibration for target flowmeter is elicited. Based on the knowledge about structural features and operating principle of target flowmeter, three kinds of the design schemes for dynamic calibration of target flowmeter are proposed. In accordance with the types of calibration signals, there are random signal method, pulse signal method, and negative step signal method. Through comparing the advantages and disadvantages of these three types of calibration devices, it is found that the negative step signal method is the best scheme. This method features simple, reliable, low cost and more flexible, so it can be used to implement dynamic calibration of target flowmeter.

Keywords: Target flowmeter Dynamic calibration Calibration device Random signal Pulse signal Negative step signal

0 引言

靶式流量计出现于20世纪60年代,它具有结构简单、成本低廉、不容易堵塞等优点,主要用于高黏度、低雷诺数流体的流量测量,也可用于测量一般气体、液体和蒸汽等流体介质的流量^[1-3]。

目前,靶式流量计实流标定时要求流体为定常流,但其应用场合多为非定常流。在脉动流(周期性、随机波动)等场合,靶式流量计往往无法准确地复现流量信号随时间变化的规律。此外,当流体流动脉动频率接近靶杆的固有频率时,靶杆会出现共振的现象。这些因素都会对靶式流量计的准确度与可靠性产生影响。本文从靶式流量计的结构特点及工作原理出发^[4],探索与构思靶式流量计动态标定装置的设计方案。

1 结构特点与工作原理

靶式流量计的结构示意图如图1所示。

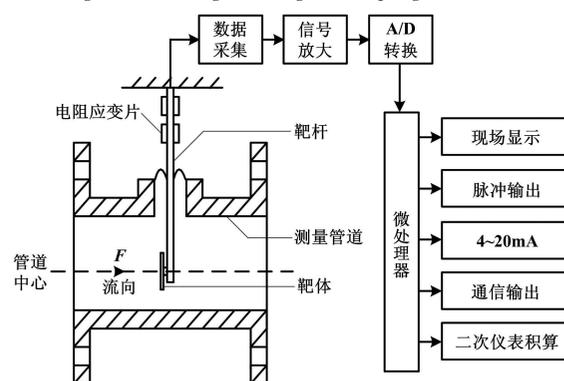


图1 靶式流量计结构示意图

Fig. 1 The structure diagram of target flowmeter

靶式流量计的工作原理是在测量管道的中心位置设置一靶体(信号发生体),当流体流动冲击位于管道中心位置的靶体时,作用于靶体上的力 F 与流体密度 ρ 、靶体受力面积 A 、流体流速 v 的平方成正比,其关系式如下:

$$F = \zeta \rho A \frac{v^2}{2} \quad (1)$$

通过数学变换推导,得到流量公式如下:

$$q_m = 4.512 \alpha D \left(\frac{1}{\beta} - \beta \right) \sqrt{\rho F} \quad (2)$$

福建省自然科学基金资助项目(编号:2012J01216)。

修改稿收到日期:2013-04-02。

第一作者解海艇(1986-),男,现为华侨大学测试计量技术及仪器专业在读硕士研究生;主要从事传感技术与信号处理方面的研究。

$$q_v = 4.512\alpha D \left(\frac{1}{\beta} - \beta \right) \sqrt{\frac{F}{\rho}} \quad (3)$$

式中: q_m 为质量流量; q_v 为体积流量; α 为流量系数; D 为测量管道内径; β 为流隙比, $\beta = \frac{d}{D}$ (d 为靶片的直径, 非圆形靶片可换算成圆的直径计算)。

靶体的受力大小经电阻应变片力传感器转换成微伏电信号, 通过信号采集与放大、A/D 转换、微处理器运算处理后, 得到相应的流体流速和流量^[5-8]。

2 动态标定装置设计方案

对于一般的传感器, 根据其自身特点的不同 (如电式、机械式、气动式传感器等), 可以对其施加正弦信号, 分析其频域响应特性; 或施加阶跃、斜坡、脉冲等信号, 分析其时域响应特性。另外, 还可以施加随机信号进行相关分析^[9-10]。

靶式流量计的动态标定就是通过试验研究其在动态输入信号作用下的响应特性, 从而获取能够反映其动态特性的性能指标的过程。若要对靶式流量计进行动态标定, 首先应该根据靶式流量计的工作原理及其自身特点, 选择和设计合适的标定信号及装置来进行试验。本文通过考虑动态标定的目的, 结合靶式流量计的结构特点和工作原理, 设计了随机信号法、脉冲信号法和负阶跃信号法三种靶式流量计动态标定装置设计方案。下面对这三种标定方案进行深入的探讨与分析。

2.1 随机信号法

随机信号法是在一般的靶式流量计静态标定系统的基础上加以改造, 产生随机标定信号, 以实现动态标定。

该方案的思路是将一个已知频率特性并且具有良好动态特性的高精度、高性能的标准表与待标表先后串接在标定管道中, 当原先的静态标定系统中的定量泵开启后, 标定管道内会产生流体流动相对比较稳定的流量信号。而动态标定本身所需要的是一个动态变化的流体流量信号, 可通过在管道出水口设置一个活动阀门来解决这个问题, 具体为利用活动阀门的随机开关运动产生一个随机变化的流体流量信号。

数据采集系统采集标准表所反映的流量信号与待标表的电压输出信号这两路信号数据。因为标准表具有良好的动态特性, 能比较准确地反映流体的流量情况, 故假定采集到标准表的流量信号与流体流量信号相一致, 将其作为待标表的输入信号, 与采集的待标表的电压输出信号一起传输给计算机。利用 FFT、功率谱等数字信号处理的相关方法来估算待标表的频率特性。最后将此频率特性与已知的标准表的频率特性进

行对比, 从而实现靶式流量计的动态标定。

随机信号法方案示意图如图 2 所示。

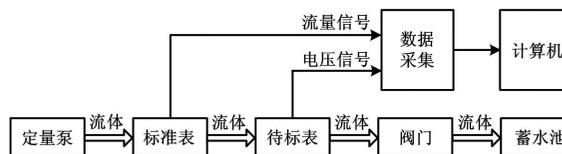


图 2 随机信号法方案示意图

Fig. 2 The diagram of the random signal method

随机信号法具有以下优点: 首先, 在原有的静态标定系统的基础上做适当的改造, 从而可以用比较低的成本来建立靶式流量计的动态标定系统; 其次, 由于流体流动的复杂性, 要使流体流量产生按正弦、阶跃、冲击等规律变化的标定信号几乎是不可能的事情, 而通过活动阀门的随机开关运动产生随机流量信号作为标定信号, 可以很好地解决在标定信号产生方面存在的这个难点。

随机信号法也存在一些缺点: 首先, 由于各生产厂家的流量计产品与现行市面上出售的各种流量计几乎没有与频响特性等动态特性相关的性能指标, 要获取一个具有良好动态特性的标准表非常困难; 其次, 标准流量计本身也存在一些滤波的情况, 直接采集其输出的流量信号作为待标表的流量输入信号, 必然会带来一些误差, 对待标表的动态标定产生负面的影响。

2.2 脉冲信号法

脉冲信号法是根据靶式流量计的工作原理及其结构特点构思的一种标定装置设计方案。

由靶式流量计的原理及结构特点可知, 靶式流量计主要是利用流体流动时对靶体的冲击力使靶杆弯曲变形, 从而带动靶杆上面的电阻应变片形变所产生的电信号来进行流量测量。因此, 从本质上来看, 靶式流量计其实就是一种电阻应变片式的力传感器, 故可借鉴对力、加速度等传感器的动态标定方法来对靶式流量计进行动态标定。脉冲信号法就是运用激振器产生动作, 并通过传动机构对靶体施加脉冲力信号来产生动态标定信号, 实现对靶式流量计的动态标定。

该设计方案的标定过程为: 利用函数发生器产生脉冲信号, 经过功率放大后, 传输给激振器; 激振器产生动作, 利用传动机构给靶式流量计靶体发送一个正向的脉冲。这样, 靶式流量计就获得了一个脉冲标定信号。数据采集卡采集函数产生器产生的脉冲标定信号与待标表输出的电压信号, 并传输给计算机处理。利用 FFT、功率谱、系统辨识等方法对数据进行处理, 得到频率响应特性。脉冲信号法示意图如图 3 所示。

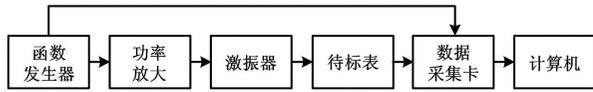


图3 脉冲信号法示意图

Fig. 3 The diagram of the pulse signal method

脉冲信号法的优点是简单可靠,能够很容易地产生标定信号(脉冲信号),产生的脉冲标定信号是一个具有确定规律的信号。因而输入信号是一个已知的信号,只需将采集到的靶式流量计输出的电压信号与已知脉冲信号(函数发生器发生)的数据传输给计算机,就可以利用FFT、功率谱、系统辨识等数据处理方法进行处理。

相对于随机信号法来说,脉冲信号法的缺点是成本比较高。另外,利用激励器产生力脉冲信号,在实际操作中面临一些困难和挑战。

根据上述方案与随机信号法的启发,如果能够得到具有很好动态特性的标准表,就可以利用激励器产生标定信号(力信号),然后经传动机构同时施加于标准表与待标表,通过两者的比较来进行动态标定和评价。标定和评价的关键在于能否获取具有很好动态特性和相关性能指标的标准表。

脉冲信号比较法示意图如图4所示。

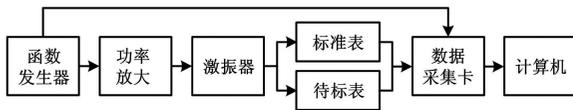


图4 脉冲信号比较法示意图

Fig. 4 The diagram of the pulse signal comparing method

2.3 负阶跃信号法

负阶跃信号发生装置如图5所示。

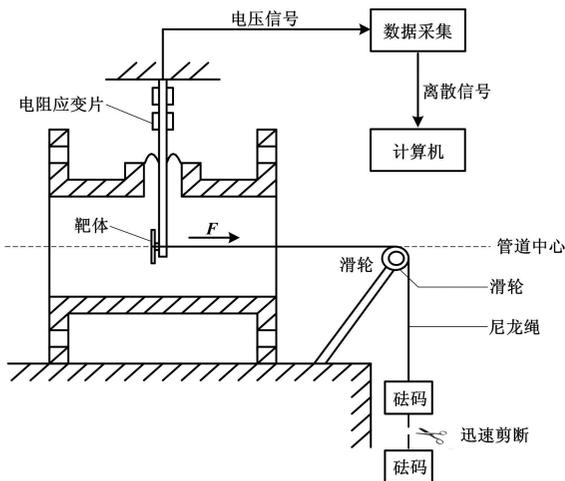


图5 负阶跃标定信号发生装置示意图

Fig. 5 The diagram of the negative step signal generator

负阶跃信号法是利用挂重装置产生一个负阶跃力信号来对靶式流量计进行动态标定。

负阶跃信号发生装置利用挂重装置,在装置上下同时悬挂两个砝码,放置一段时间后,在某个时刻用剪刀快速剪断下面的砝码,从而产生一个负阶跃力的标定信号。

负阶跃力信号示意图如图6所示。

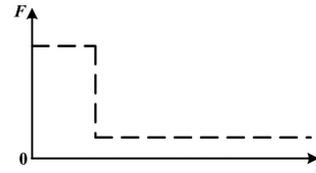


图6 负阶跃信号示意图

Fig. 6 The diagram of the negative step signal

负阶跃法方案标定过程为:利用挂重装置产生一个负阶跃力信号给靶式流量计,利用数据采集卡采集靶式流量计的电压输出信号,将该信号传输给计算机并保存。由于挂重装置所产生的标定信号是一个负阶跃的力信号(物理量),不是电信号,所以无法利用数据采集卡采集该标定信号数据来进行标定。对此,本方案通过构造标定信号数据的方法来解决这个问题。标定信号是一个负阶跃的力信号,根据采集的响应信号(靶式流量计的电压输出信号)的数据,视标定信号与响应信号的起跳点同步,据此构造标定信号(负阶跃力信号)数据,得到标定信号与输出信号数据。利用FFT、功率谱、系统辨识等方法对数据进行处理,得到靶式流量计的频率响应特性。

负阶跃信号法的优点有:首先,该方案成本低廉、结构简单,信号发生装置只需利用现有的干标挂重装置即可;其次,标定信号是已知的负阶跃信号,只需采集靶式流量计输出的电压信号。

负阶跃信号法的缺点是:当快速剪断绳子,突然释放底下的砝码,在理论上可产生一个负阶跃力信号,但是,绳子本身具有一定的弹性,并且挂重装置上还存在滑轮,因而绳子在经过滑轮时,还要受到摩擦力的影响,因此,所产生的标定信号并不是一个理想的负阶跃信号。

3 结束语

本文基于对靶式流量计结构特点、工作原理的认识,构思出随机信号法、脉冲信号法和负阶跃信号法三种动态标定装置的设计方案。其中,随机信号法的成本低,但难以获取具有良好动态性能指标的标准表。脉冲信号法通过函数发生器发生标定信号给激励器产

(下转第73页)