

基于最小二乘法的脉冲流量计 仪表系数的非线性修正

刘波^{1,2}, 李理光¹, 刘庆³, 贾蕊¹

(1. 同济大学汽车学院, 上海 200092; 2. 上海禾未新能源科技有限公司, 上海 200433;
3. 布克哈德压缩机(上海)有限公司, 上海 201201)

摘要:脉冲流量计输出的频率信号能够在较宽范围内保持良好的重复性,但其仪表系数只能在较窄的范围内保持恒定,从而制约了其测量精度。该设计提出以最小二乘法实现对脉冲流量计仪表系数的非线性修正,该方法基于 LabWindows/CVI 来完成算法实现和流量修正软件的开发设计。最小二乘法的求解采用基于正交多项式集的构造途径,以相关系数对其拟合结果进行效果评价。频率测量采用嵌入式设备研华 PCI-1710 数据采集卡采集脉冲信号,并使用脉冲计数方式,解决了测量误差在总流量中的累积问题。软件为第三方软件提供了 DDE 通信的设备接口,实现了数据传输的标准化。该设计通过嵌入式控制手段模拟运行系统实现对流量的模拟测量,用测量所得数据生成的模型与标准模型相比较,结果表明该方法不仅提高了流量计的计量精度,而且展宽了其量程范围。

关键词:最小二乘法;仪表系数;LabWindows/CVI;DDE;嵌入式系统

中图分类号:TH814 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-0682(2015)01-0003-03

The non-linear correction of pulse flowmeter instrument coefficient based on the least square method

LIU Bo^{1,2}, LI Liguang¹, LIU Qing³, JIA Rui²

(1. School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Heweitec New Energy Co., Ltd., Shanghai 200433, China; 3. Burckhardt Compression (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201201, China)

Abstract: Pulse flowmeter output frequency signal can keep good repeatability in a wider scope, but the instrument coefficient can maintain a constant within a narrow range, thereby restricting its measuring accuracy. This design is on the least squares method to implement the algorithm, which is about non-linear modifying of pulse flowmeter instrument coefficient, also implement the algorithm and that the software development and design based on LabWindows/CVI. It brings forward the way of pulse counting uses embedded system Advantech PCI-1710 data acquisition card in flow measurement, to solve the problem that measurement error cumulates in the total flow. This software provides a DDE communications equipment interfaces for third-party software, and achieves the standardization of data transmission. The design through embedded system simulation systems, accomplishes the function of simulation to flow measurement. After compare the model generated by the measured data with the standard model, it turns out that not only the measuring accuracy of flowmeter has been improved, but also the measuring range has been broadened.

Key words: least squares method; instrument coefficient; LabWindows/CVI; DDE; embedded system

0 引言

随着科学技术的发展,对于流量检测精度的要求越来越高。人们根据不同测量对象设计制造出了各种类型的流量仪表,但通常由于设计原理和机械

收稿日期:2014-03-25

基金项目:国家创新基金项目(12C26213102039)

作者简介:刘波(1980),男,山东人,博士,研究方向为仪表及自动化。

加工精度的限制,许多流量计的计量精度不能得到显著的提高,从一定程度上制约了工业生产工艺以及经济的发展。无论使用国内还是国外的计量仪表,都需解决由于机械加工精度或机械磨损等因素带来的非线性问题^[1]。

早期出现的修正是采用硬件电路进行修正^[2]。在传感器前置放大电路中增加一些硬件电路,人为地增加(或减少)一个固定的频率信号,从而使传感器实际输出信号频率得到修正,改善其仪表系数的非线性程度。此方法缺点是只适用于单调上升(或下降)的曲线形状,而且硬件补偿灵活性差,补偿精度不太高,并且在较高精度要求的仪表中难以适用。该文方法是基于最小二乘法算法的软件来实现仪表系数修正,具有通用性好,补偿精度更高、使用更灵活等特点。

1 系统总体设计

系统总构成图如图 1 所示,流量计模拟运行系统产生的流量脉冲信号和温度、压力信号分别通过研华 PCI-1710 和 RS-232 传给计算机的流量测量修正软件。该软件通过对数据的实时处理得到标况的瞬时流量值和累积流量值,采用动态数据交换(Dynamic Data Exchange, DDE)方式将瞬时流量值和累积流量值交予第三方软件动态显示及存储。

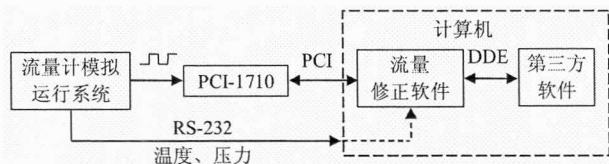


图 1 系统构成图

2 仪表系数非线性分析

仪表系数是标志脉冲流量计的重要参数,一般用 ξ 来表示,它表示以体积流量 q 通过脉冲流量计时传感器所发出的脉冲频率 f ;或者是流体体积总量 V 通过脉冲流量计时传感器所发出的脉冲总数 N 。用数学式可表示为:

$$\xi = \frac{f}{q} \text{ 或者 } \xi = \frac{N}{V} \tag{1}$$

一般随着流量的大小变化,仪表系数 ξ 不是一个真正的常数。除了 ξ 的重复性,主要是 ξ 的非线性给流量积算带来积算误差。图 2 是几种流量计的仪表系数 ξ 随体积流量 q 变化的典型关系曲线图。

由于流体在层流和紊流的不同流态下,流体阻力矩存在较大的差别,故在层流和紊流的交界点上,

特性曲线有一个极值,流体黏度越大时,该峰值的位置越向大流量方向移动^[3]。

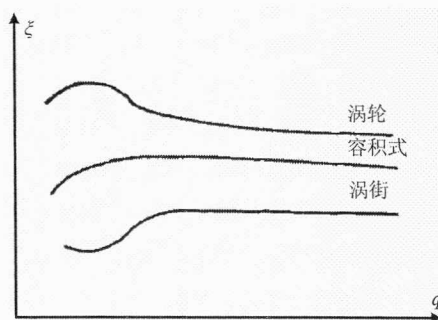


图 2 ξ 与 q 的典型关系曲线

3 算法实现

可以构造出一组次数不超过 n 的在给定点上正交的多项式函数集 $\{Q_j(x) (j=0,1,\dots,n)\}$,则可以首先用 $\{Q_j(x) (j=0,1,\dots,n)\}$ 作为基函数作最小二乘曲线拟合^[4],即

$$P_n(x) = q_0 Q_0(x) + q_1 Q_1(x) + \dots + q_n Q_n(x) \tag{2}$$

这时,易得

$$q_j = \frac{\sum_{k=0}^m y_k Q_j(x_k)}{\sum_{k=0}^m Q_j^2(x_k)}, \quad j = 0, 1, \dots, n \tag{3}$$

然后将各 q_j 代入式(2)后展开成一般的多项式。

构造给定点的正交多项式 $Q_j(x) (j=0,1,\dots,n)$ 的递推公式如下:

$$\begin{cases} Q_0(x) = 1 \\ Q_1(x) = (x - \alpha_0) \\ Q_{j+1}(x) = (x - \alpha_j) Q_j(x) - \beta_j Q_{j-1}(x) \\ j = 1, 2, \dots, n-1 \end{cases} \tag{4}$$

其中:

$$\alpha_j = \frac{\sum_{k=0}^m x_k Q_j^2(x_k)}{d_j}, \quad j = 0, 1, \dots, n-1 \tag{5}$$

$$\beta_j = \frac{d_j}{d_{j-1}}, \quad j = 0, 1, \dots, n-1 \tag{6}$$

$$d_j = \sum_{k=0}^m Q_j^2(x_k), \quad j = 0, 1, \dots, n-1 \tag{7}$$

计算过程中,根据递推公式(4)逐步求出各正交多项式 $Q_j(x)$,并用公式(3)计算出组合系数 q_j 。同时,逐步将每次计算得到的 $q_j Q_j(x)$ 项展开累加得到最终的拟合多项式^[5]。

为了提高拟合精度,并且防止出现 Range 现象,根据流态的不同在特性曲线上出现极值的特点,通过求极值得到流态的大致分界点。对不同流态分别进行低阶最小二乘法拟合,两条曲线采用线性连接。

4 软件设计

基于 LabWindows/CVI 的流量修正软件设计的软件流程图^[6],如图 3 所示。

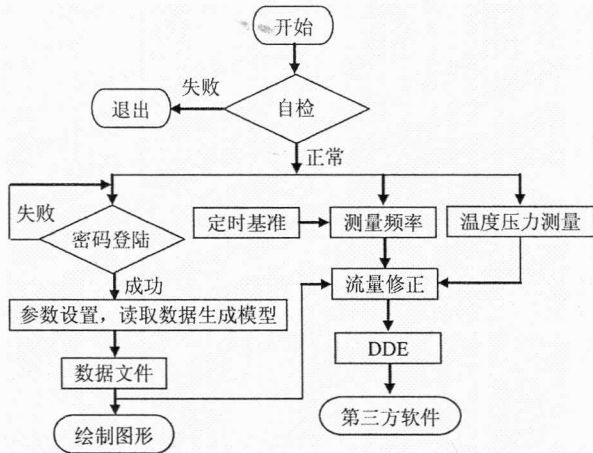


图3 软件流程图

4.1 频率测量

频率测量采用研华 PCI-1710 计数器的事件计数功能记录总的脉冲个数,再通过异步定时器定时测得频率值,对累积计量具有自补偿作用^[7]。

4.2 DDE 通信

流量修正软件作为服务器,第三方应用程序作为客户机,向服务器请求数据,服务器将数据送出。根据 DDE 通信协议的规定,软件中置 DDE 服务器的服务器标识为 DAQServer,主题标识为 fluxdata,数据项一的标识为 flux,数据项二的标识为 cumflux。

4.3 RS-232 串行通信

通信双方采用零 Modem 最简连接方式,实现全双工异步串行通信。软件设置由串口 COM1 接收数据,波特率为 57 600 bps,采用奇校验,8 位有效数据,1 位停止位,并禁止软硬件握手。

4.4 流量修正

流量修正模块是将保存在数据文件中的非线性模型表达式 $q = F(f)$ 读入并计算出实际的流量 q 。从数据文件中读入气体的温度和压力的临界值及测得的工况下的温度值和压力值来共同决定 Redlich-Kwong 普遍化方程的系数,计算出对应的压缩系数^[8]。依据相关国家标准可以自行设置参数将工况流量折算成标况下的流量值。

5 流量测量仿真数据处理

5.1 流量模型的生成

通过对流量计模拟运行系统模型中的一系列流量点的测定,经修正算法对测定的数据点文件的处理生成模型文件,以供修正软件运行时使用。测量生成的模型与标准模型的相关系数 $R = 0.9993$,可见拟合效果很好。

5.2 运行误差分析^[9]

经计算测定生成的模型与标准模型的相对误差曲线如图 4 所示。

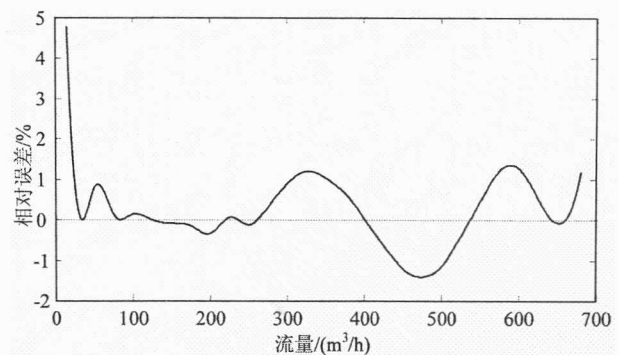


图4 生成模型与标准模型的相对误差曲线图

对于常仪表系数模型 ($\xi = 7270$) 与标准模型的相对误差曲线如图 5 所示。

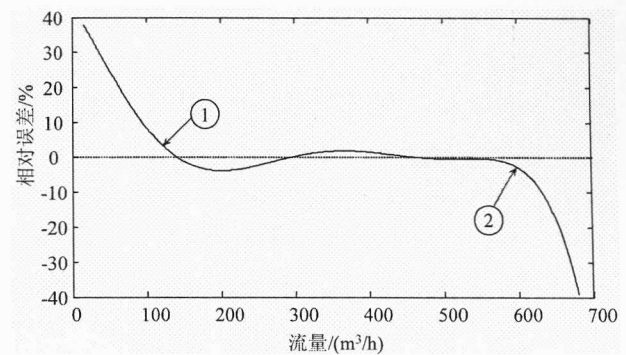


图5 常仪表系数模型与标准模型的相对误差曲线图

5 结论

通过对生成的模型曲线与标准模型曲线的相关系数的计算,可见通过最小二乘拟合数据可以较好地建立一个优越的实际模型。

通过对生成的模型与标准模型的对比计算,明显可见大大降低了计量误差,并且展宽了流量计的测量范围。由常仪表系数流量计模型的相对误差曲线可见在超出流量点①和流量点②范围后,相对误差急剧上升,通常认为该流量计的有效测量范围在流量点①和流量点②之间, (下转第 14 页)

工环境的温湿度要求较高,而其敷设区域广,施工阶段环境控制难度大等现状,无法满足施工要求;若按照正常的施工逻辑,势必会影响电缆敷设端接进度;鉴于此,在电缆敷设及端接上打破传统的施工逻辑,采用先端接电缆,后进行电缆敷设的施工流程,即:

1) 准确测量电缆实际路径的长度,根据测量的结果把电缆进行截取分类,并将其存放低于温湿度受控的区域内;

2) 将截取分类的电缆在温湿度受控的区域内完成电缆接头制作,并采用软泡沫和防潮塑料布对接头进行有效保护;

3) 待现场核清洁完成后。将插头制作完成的电缆进行现场敷设。

通过采取上述优化措施,保证电缆绝缘的绝缘阻值不会因环境而受到影响,并确保作业人员与设备的安全,提高电缆敷设及端接的质量水平,消除了电缆敷设及端接期间的质量隐患与安全隐患。

4.3 探测器吊装创新

鉴于探测器需通过 RX 厂房内的环吊在 20 m 平台进行吊装,且吊装时需穿过堆坑、探测器套筒以及推拉装置调整定位,属于高风险作业,其吊装期间的人员配置是否合理,对整个探测器吊装风险及质量控制具有重要的意义。经过对现场情况的分析,并结合探测器施工逻辑,创新性的对探测器吊装期间的人力安排进行了有效配置(详见图 8),经过探测器吊装实践,可有效控制整个探测器吊装期间的吊装风险,保证探测器安装质量。

5 结语

核仪表系统作为直接关系核电厂安全的关键系

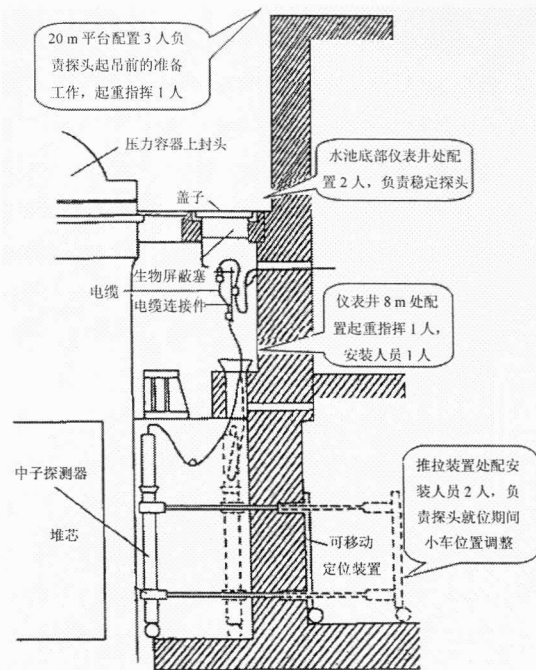


图 8 探测器吊装人员配置图

统,其安装阶段的施工质量对整个核电厂的安全运行具有重要的意义。该文在总结岭澳二期核仪表系统自主化安装实践的基础上,对整个安装阶段的关键技术、质量控制策略、自主化创新以及经验反馈等工作进行了详细介绍,为 CPR1000 堆型后续项目的核仪表系统安装技术完善和自主化安装能力提升提供重要的参考,也为 EPR、AP1000 三代堆型核仪表系统的安装提供了借鉴。

参考文献:

[1] 刘艳阳,李文平. 秦山核电二期工程核仪表系统设计[J]. 核动力工程,2003,24(2):238-240.
 [2] 刘素娟. 核电厂安全相关仪表和控制系统的电磁兼容性要求及评价[J]. 核科学与工程,2002,22(2):89-95.

(上接第 5 页)

这样流量计的量程将受到极大地限制。

由以上可知,采用对仪表系数修正的方法不仅提高了计量精度,而且拓宽了流量计的量程范围,从整体上提高了流量计的综合性能。

参考文献:

[1] 张涛. 气体涡轮流量计的精度分析[J]. 煤气与热力, 2001,21(3):229-232.
 [2] 杨金生,唐怀璞. 大口径低速插入式切向涡轮流量计的研制[C]. 天津电子仪表质量品种效益学术会议论文集,1991.
 [3] 梁国伟. 脉冲型流量传感器仪表系数准确性研究[J]. 计量技术,1998(11):26-28.

[4] 徐士良. 数值分析与算法[M]. 北京:机械工业出版社,2007:271-273.
 [5] 石东洋. 数值计算方法[M]. 郑州:郑州大学出版社,2007:50-52.
 [6] 王建新,杨世风,隋美丽. LabWindows/CVI 测试技术及工程应用[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
 [7] Advantech Automation Corp. Advantech Device Driver Manual[Z]. 2003.
 [8] 孟祥适,姜印平,刘玉杰,等. 基于天然气压缩系数 Z 提高天然气计量准确度的方法[J]. 测控技术,2004,23(6):16-18.
 [9] JJG 198—1994. 速度式流量计检定规程[S].