

# 基于等效系统的动态称重数据处理

张丽妹<sup>1</sup>, 高占宝<sup>1</sup>, 尹志兵<sup>2</sup>

(1. 北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191; 2. 中山市精威包装机械有限公司, 广东 中山 528425)

**摘要:** 动态称重技术是目前产品定量包装领域十分关心的问题, 如何提高称重的精度和速度是动态称重的难题之一。基于定量包装的动态组合秤实验数据, 采用等效系统的方法对动态称重数据进行处理, 提出了基于非线性系统辨识的滤波方法, 并设计适合动态称重数据的尺度函数对快速性和稳定性进行评估。结果表明, 该方法较之传统的平滑数据滤波方法, 有效提高了测量的快速性。

**关键词:** 动态称重; 非线性系统辨识; 等效系统; 数据处理

**中图分类号:** TN911.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8829(2013)06-0033-03

## Dynamic Weighing Data Processing Based on Equivalent System

ZHANG Li-mei<sup>1</sup>, GAO Zhan-bao<sup>1</sup>, YIN Zhi-bing<sup>2</sup>

(1. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. Zhongshan Multiweigh Packaging Machinery Co., Ltd., Zhongshan 528425, China)

**Abstract:** The technology of dynamic weighing is of great concern in the field of products quantitative packaging, but how to improve the weighing accuracy and speed is a puzzle in this field. A new filtering method based on nonlinear system identification is proposed, and the equivalent system method is applied to process dynamic weighing data, based on the experimental data of combined scales for quantitative packaging. A fitness function is also designed to evaluate the quickness and the stability for this dynamic weighing data. Comparing with the moving average filtering, the results show that the new method improves the quickness effectively.

**Key words:** dynamic weighing; nonlinear system identification; equivalent system; data process

随着电子技术和计算机技术的发展, 产品的定量包装广泛应用于各行各业, 并借助于微机系统进行同步计量。尤其是小秤量定量包装, 要求计量准确度高、包装出接近或略大于标定值的最佳计算值作为物料的输出量<sup>[1]</sup>。传统的单体称量包装秤, 包装速度与精度都有很大缺陷, 组合秤采用分料斗称重, 并组合最优的设计, 大大提高了称量的精度, 料斗数一般为 10 斗、14 斗。组合秤称重时, 物料通过振动从储料斗经料斗门进入各编号的称料斗, 通过称重各称料斗重量, 然后按组合原理进行组合计算, 每次下料都是在很多个合格组合中选择最接近目标重量的组合。但是, 由于系统固有的非线性特性和系统低频元件以及工业环境中的机械振动、物料下落的冲击力、电磁辐射等干扰存在,

动态称重的快速性和准确性很难同时满足高性能指标要求。如何有效抑制和降低这些干扰和噪声引起的动态测量误差, 是提高动态测量性能必须面对的问题。

本文采用由单通道称重 200 g 物料获得的实验数据, 根据等效系统的概念提出了新的滤波方法, 该方法遵循原系统的非线性特性采用了非线性滤波方法。为了表明该方法的优点, 将此方法与传统的滑动平均方法的结果做了对比, 并设计适合本系统的尺度函数对称重的快速性和准确性进行衡量, 仿真结果表明该方法有效地改变了称重的快速性和准确性。

## 1 称重数据处理

由于系统固有的非线性特性和系统低频元件以及工业环境中的机械振动、物料的冲击力、电磁辐射等干扰的存在, 使得实验得到的动态称重初始数据含有较大波动, 为了快速得到称重值, 需对采集到的数据进行处理, 以便较快地得到准确称重值。可先进行数据的预处理, 剔除一些异常值, 以提高后续滤波的效果与精度。

收稿日期: 2012-05-10

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(4113073); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(YWF-10-02-096)

作者简介: 张丽妹(1987—), 女, 河北邢台人, 硕士研究生, 主要研究方向为故障预测与健康监测。

### 1.1 数据预处理

动态组合秤的称重传感器采用悬臂梁作为敏感元件,通过 4 个应变片组成的全桥差动电路输出电信号。由于动态测量过程中受物料冲击影响,导致悬臂梁围绕平衡位置振动,使得输出数据存在负值重量,如图 1 所示。实线数据为采集到的动态组合秤的原始称重数据,标称质量为 200 g,采样频率为 60 Hz。由于采集到的数据有很多负数据,这在称重中明显是不合理的,为此,在预处理中采用了负值赋零的方法,即将测量得到的数据中的负值赋值为零。处理前后数据对比如图 1 所示。

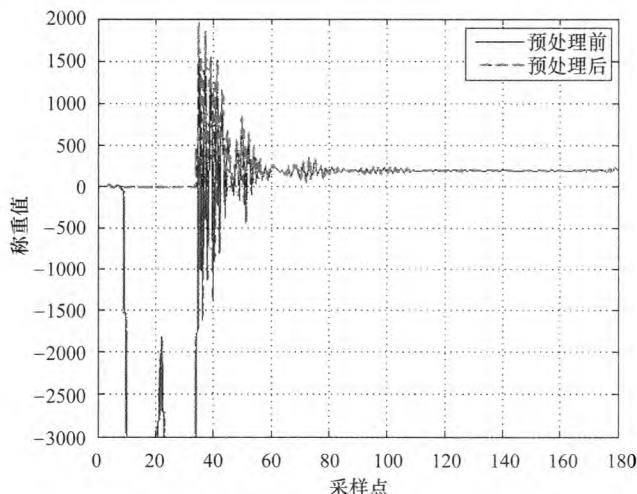


图 1 异常值剔除前后数据对比

由图 1 可见,经负值处理后数据仍有较大波动,需要进一步进行预处理。因为真实的测量曲线应该是较平滑的阶跃或欠阻尼振荡的曲线,所以,明显偏离变化趋势的数据是可以舍去的。可利用拉依达准则(又称  $3\sigma$  准则)进行偏差较大值的剔除。

$3\sigma$  准则:如果实验数据的总体  $x$  是服从正态分布的,则

$$P(|x - \mu| > 3\sigma) \leq 0.003 \quad (1)$$

式中,  $\mu$  与  $\sigma$  分别表示正态总体的数学期望和标准差。此时,在实验数据中出现大于  $\mu + 3\sigma$  或小于  $\mu - 3\sigma$  数据的概率是很小的。因此,根据式(1)将大于  $\mu + 3\sigma$  或小于  $\mu - 3\sigma$  的实验数据作为异常数据,予以剔除。

### 1.2 滑动平均滤波方法

经过预处理后的数据就可以进行数据滤波处理了,对数据滤波可以通过数字滤波和模拟滤波来实现。通常情况下,在称重系统中引起称重精确度的误差主要是由动态荷载的高频和低频信号干扰引起的误差,同时也受机械机构的影响,常用的数字滤波方法有限幅滤波法、中值滤波法、算术平均值法、滑动平均滤波法、加权平均滤波法以及复合滤波法等。中值滤波法不适合于快速变化的参数,算术平均值法不易消除脉

冲干扰而引起的偏差,而加权平均滤波法在滤波过程中要不断调整各系数,各系数的调整很难确定。

对于该非平稳信号,目前常用的滤波方法是滑动平均滤波法。滑动平均滤波方法即选定某一尺寸的窗口,将窗口内的所有数值做算术平均,将平均值作为窗口最前端数值,移动窗口,重复此平均方法,直到对全部数据完成上述过程,这种过程称为滑动平均<sup>[2]</sup>。滑动平均相当于低通滤波,如窗口长度为  $n$ ,就是让数据通过一个  $n$  点的 FIR 滤波器,起到序列的平滑作用<sup>[3]</sup>。

经过滑动平均滤波后的数据,输出数据的稳定性得到了很好改善,可以得到较准确的数值,但是响应速度很慢。为了改进动态称量的快速性,本文提出基于等效系统应用非线性滤波的方法。

### 1.3 基于非线性系统辨识的等效系统方法

滑动平均滤波对于滤除高频噪声效果很好,但是该系统的干扰信号比较多,因此滑动平均滤波的效果不是很理想。组合秤在工作时需要测量出下落物料的质量,而物料下落过程中其质量往往随时间不断变化,且存在物料斗开关门扰动,即组合秤这类称重系统的动态过程本质上是时变的非线性系统。经典的动态称重问题处理方法,有基于等效系统理论的动态补偿滤波器设计方法。该方法的思路为:在理想情况下,具有传递函数  $G(s)$  的一台仪表或测试系统,可以级联一个动态补偿滤波器  $H(z^{-1})$ ,使被补偿后的等效系统具有理想的瞬时响应特性。函数关系见式(2)和式(3)。

$$x(n) = G_0(z^{-1})u(n) \quad (2)$$

$$\bar{x}(n) = H(z^{-1})G(z^{-1})u(n) \quad (3)$$

式中,  $G(z^{-1})$  为  $G(s)$  的离散化模型;  $G_0(z^{-1})$  为由  $G(s)$  与  $H(z^{-1})$  级联的等效系统,满足给定动态性能要求;  $u(n)$  为输入数据;  $H(z^{-1})$  为测试系统  $G(s)$  的满足给定动态性能指标要求的动态补偿滤波器;  $x(n)$  为希望的输出值;  $\bar{x}(n)$  为测量值,当取式(4)时有式(5)。

$$H(z^{-1}) = G_0(z^{-1})/G(z^{-1}) \quad (4)$$

$$\bar{x}(n) = x(n) \quad (5)$$

但是这种方法将非线性系统线性化,得到线性化模型,该过程就引入了误差,影响了测量的精度,不能从本质上解决非线性问题。本文采用非线性系统辨识方法,忠于原系统的非线性,不拘泥于对传递函数的变形处理,而注重输入输出数据的等效性。

对于该系统,动态称重时输入信号  $x(n)$  是阶跃信号,得到的是波动很大的输出数据,而期望得到的是能快速到达稳定值的响应数据,为此,采用测量得到的  $y(n)$  作为输入,期望值  $z(n)$  作为输出,辨识出其非线性模型  $F(z^{-1})$ ,用其对测量数据做滤波处理就可以得到很好的结果。

式(6)和式(7)为测试过程及滤波过程:

$$y(n) = G(z^{-1})u(n) \quad (6)$$

$$z(n) = F(z^{-1})y(n) \quad (7)$$

非线性模型辨识成为一个日益活跃的研究领域,在众多方法中,基于频域的非参数方法已经应用得很少,而基于时域的方法则被应用得越来越多。对于非线性系统辨识,常用的模型为 HW 模型、NLARX 模型、非线性反馈模型等<sup>[5]</sup>。HW 模型拟合非线性系统的能力比较好,采用 HW 模型结构,应用 Matlab 的系统辨识工具箱对  $F(z^{-1})$  辨识,得到系统的非线性 HW 模型。HW 模型由一个静态的输入非线性模块  $f(x)$ 、一个动态的线性模块  $G(u)$  和一个静态的输出非线性模块  $h(v)$  组成,如图 2 所示。

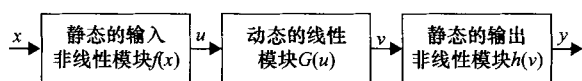


图2 Hammerstein-Wiener(HW)模型

图2中, $f(x)$ 和 $h(v)$ 表示静态非线性函数,而 $G(u)$ 表示线性动态系统<sup>[6]</sup>。其中

$$G(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 - a_1 z^{-1} - \dots - a_n z^{-n}} \quad (8)$$

本文采用 Matlab 的系统辨识工具箱进行了系统辨识,利用图形用户界面导入数据,对数据进行消除趋势项、滤波等预处理,调整模型及参数得到期望的模型。该模型辨识过程的实现程序代码如下:

```
data = iddata(zout,u);
nlhw1 = nlhw(data,[2 3 1], 'wavenet', 'wavenet');
z2 = sim(nlhw1,u);
```

其中 data 为输入输出数据,nlhw1 为得到的非线性 HW 模型,z2 为仿真得到的模型输出。

#### 1.4 尺度函数设计

在实际称量系统中,人们总是希望得到比较准确的称重值,并且称重的速度也是保证和提高生产效益所必需的。因此,快速性和准确性是评价动态称重系统的两个重要指标,这也是研究动态称重系统要解决的最重要的问题。为了便于比较本文提出的基于等效系统方法的非线性滤波数据处理技术与传统平滑滤波处理技术的优劣,专门设计了衡量快速性和准确性的尺度函数,用来衡量所提出的数据处理方法的改进效果。参考阶跃响应函数的评价方法,编写了衡量快速性和准确性的尺度函数(fitness)。fitness 函数首先设计一个稳态误差带,以进入稳态误差带的时间作为衡量测量快速性的稳态时间;再以进入误差带的一定长度数据的标准差作为衡量准确度的指标。fitness 函数可以从数量上精确地评价动态称重数据处理的快速性和准确性等指标,便于定量地比较不同方法的优劣。

该尺度函数如下:

```
function [ts,dx] = fitness(x,xs,d,Fs,N)
```

输入参数: $x$  为待衡量的数据, $x_s$  为待衡量数据的稳态值, $d$  为允许的稳态误差范围, $F_s$  为采样时间, $N$  为衡量标准差的数据长度;

输出参数: $ts$  为稳定时间, $dx$  为稳定后的标准偏差。

fitness 函数的程序流程图如图 3 所示。

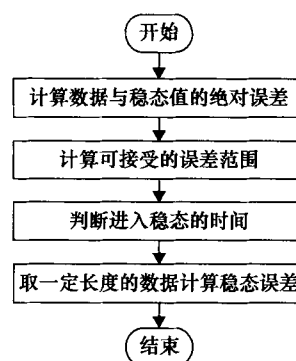


图3 尺度函数程序流程图

采用 fitness 函数从数量上衡量经典平滑方法与本文提出的非线性滤波方法的区别,会使结果更直观,更具说服力。

## 2 仿真结果分析

图 4 为动态称重数据由滑动平均滤波和等效系统方法滤波处理后得到的结果。

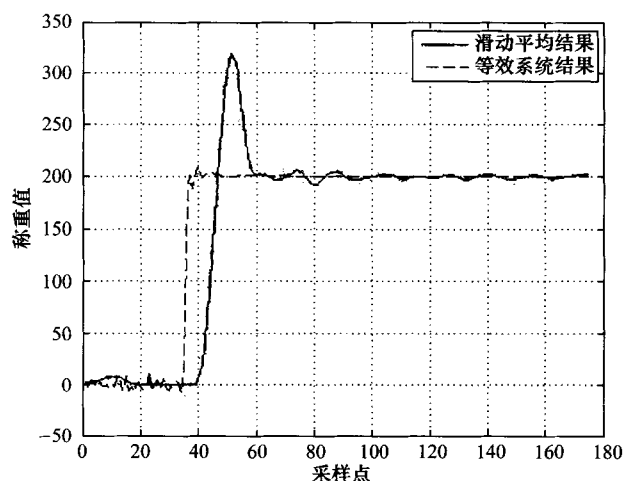


图4 两种数据滤波处理比较

由图 4 中可以很直观地看到,基于等效系统的方法得到的结果其快速性要明显优于滑动平均滤波的结果,其超调也较前者小很多,有利于测量数值的稳定。另外,其达到稳定后波动也较前者小。由此可以看出基于等效系统的方法有效地提高了动态称重的快速性与稳定性。

(下转第 43 页)

① 弹性环在核心机内部的工作环境与标定时存在一定的差异,对测量结果可能会造成一些影响;

② 利用测量参数估算的轴向力,由于部分参数无法直接测量,采用了经验公式和经验系数,比如压气机和涡轮部分进出口参数,是利用的核心机流面设计时获得的结果拟合而得,引气和冷气量分配、空气系统影响系数等也是根据设计结果给定的,这些参数与核心机实际工作时的真实数据可能存在一定差异,对于面积相对较大的轴向力分量,较小的差异也可能带来较大的轴向力变化,且存在正向和反向轴向力。

由于弹性环试验前完成了分段标定,同时对其受热产生应变的影响也进行了修正,影响因素较少,故认为直接测量值相对更可信。关于进气加温加压状态2试验中估算结果与测量值差异减小,与其余试验结果规律性不一致,分析认为是弹性环在升温过程中出现了故障,导致测量轴向力绝对值偏小;试验后拆下弹性环检查发现,有多个应变片已损坏,从而影响了弹性环测试的准确度。

3 结论

通过研究,本文给出了单轴核心机轴向力间接测量的估算方法和直接测量的几种装置,并分析了这两种方法在某型核心机地面和进气加温加压试验结果,结论如下:

① 本文介绍的两种测量方法都是可行的,且各有

优缺点;  
② 在某型核心机地面和进气加温加压试验中,两种测量方法获得的结果存在一定的差异,分析认为弹性环直接测量值相对更为可信;

③ 在进气加温加压状态2的试验后阶段,弹性环部分应变片损坏,导致弹性环测量的轴向力偏小。

根据试验结果,可以通过分析比较两种测试方法获得的试验结果,对间接估算的经验系数等进行适当的调整,可以完善核心机轴向力的测试方法。

参考文献:

[1] 卢奂采. 大型机组轴向力在线监测[J]. 自动化仪表, 1998,19(10).  
[2] 攸金高. 大型离心空压机轴向力在线监测在试车中的应用[J]. 深冷技术,2009(2):53-54.  
[3] 何洪,徐华,张俊跃,等. 增压器轴向力测量及止推轴承优化设计研究[J]. 铁道机车车辆,2003(增刊).  
[4] 贾大伟,于文华. 离心泵轴向力测试方法的研究[J]. 建筑机械(上半月),2010(12).  
[5] 杨东,刘忠华,马群. 燃气轮机轴向力测试技术研究[J]. 测控技术,2004,23(1).  
[6] 胡辽平,马朝臣,鲍捷. 一种测量车用涡轮增压器转子轴向力的新方法[J]. 车用发动机,2008(4).  
[7] 卓震,刘雪东,黄宇新,等. “多点应力法”测量多级离心泵轴向力和径向力[J]. 流体机械,2003,30(10).  
[8] 王宏伟,于冠东. 轴向力的动态测量[J]. 机械管理开发, 2007(5). □

(上接第35页)

表1为用尺度函数 fitness 衡量的结果。由该表结果可以看出,等效系统方法处理称重数据稳定时间要远小于滑动平均方法的稳定时间,动态称重的快速性提高了57%,另外,等效系统方法的标准偏差也稍小于以往方法,这就提高了动态称重的稳定性。

表1 两种滤波方法的性能指标比较

滤波方法	稳定时间/s	标准偏差
滑动平均滤波方法	1.5833	1.4788
等效系统方法	0.6667	1.4730

3 结束语

本文提出了基于等效系统的非线性滤波方法,仿真结果表明等效系统方法对于处理非平稳数据有很好的效果。等效系统方法是基于非线性模型辨识的,能够很好地模拟真实系统的非线性,更能反映真实系统的特性,较之以往的方法具有较大的优势。从对比结果可以明确看出,该方法相比常规的滑动平均滤波方

法快速性明显提高,可见其在处理非线性系统及非平稳数据方面具有较好的应用价值。

参考文献:

[1] 马桂兰,王宏伟. 论组合秤称量技术的广泛应用[J]. 企业标准化,2007(11):44-45.  
[2] 罗家佳. 电子定量包装秤动态称重系统及数据处理方法的研究[D]. 厦门:厦门大学,2007.  
[3] Zhang Y, Hou Y B, Lin M. The research on data processing for dynamic batching-weighing system[C]//The 6<sup>th</sup> International Conference on Computer Science & Education. 2011.  
[4] 孟晓风,黄俊钦,王效葵. 动态补偿滤波器的一种设计方法[J]. 计量学报,1996,17(1):61-65.  
[5] Palanthandalam-Madapusi H J, Ridley A J, Bernstein D S. Identification and prediction of ionospheric dynamics using a hammerstein-Wiener model with radial basis functions[C]// Proceedings of 2005 American Control Conference. 2005.  
[6] 桂卫华,宋海鹰,阳春华. Hammerstein-Wiener模型最小二乘向量机辨识及其应用[J]. 控制理论与应用,2008,25(3):393-397. □