

# 称重测控系统数据处理方法

徐创文\* 穆玺清

(兰州工业高等专科学校机械工程系 兰州 730050)

**【摘要】**论述了计算机测控技术研制成功的叠加式称重测试系统的基本原理、测量数学模型和其实现方法。提出了测量数据处理的最小二乘决策方法,根据测试结果数据,进行了曲线拟合分析、对比。实验证明用该数据处理的决策方法可以提高系统的测量精度和稳定性能。

**关键词** 称重传感器; 数学模型; 数据处理; 决策方法

中图分类号 TP274 文献标识码 A

## Investigation of Test Data Process Method Based on Weighing-Sensor

Xu Chuangwen Mu Xiqing

(Department of Mechanical Programme, Lanzhou Polytechnical College Lanzhou 730050)

**Abstract** Fundamental principle, test mathematical module and implementation method are discussed based on nestification weigh testing system by using computer test and control technology. Least square decisive method is put forward which can be used for analyzing curve fit and contrasting through test data. It is confirmed that precision and stability are high by using this method.

**Key words** weighing-sensor; mathematical module; data process; decisive method

叠加式称重测试系统是一种相对的测试方法,基于标准传感器测量力值,将待测传感器和标准传感器串联,平稳的加/卸载荷,使施力装置可以是液压装置(如双向液压千斤顶或液压活塞装置),也可采用步进电机驱动结构。研究表明,用液压作为动力源,在负荷迅速施加并保持负荷时,由于油缸内液体和周围介质进行热交换,使油温下降,从而导致油压的下降,随之加到传感器的负荷也下降;在卸载过程中,负荷迅速下降并保持负荷时,同样油缸内液体和周围介质进行热交换,油温上升,导致油压上升,随之加到传感器的负荷也增加,从而造成力值的波动,给传感器有关指标的测量带来影响,甚至难以测得传感器的蠕变特性。此外,用液压装置作为驱动力源噪声大、污染严重、较之电机驱动装置体积大,同时油缸的泄漏会使力值不稳定。步进电机易于实现自动控制、力值波动小、无污染、噪声小、控制灵活等优点广泛应用于称重传感器测试系统。本文对称重系统做了理论分析和建模试验,提出了测试数据处理的模型,确定了适合于称重传感器测试系统的输入-输出经验公式,使测量值较好地反映真实重量值。

### 1 叠加式称重测试系统的数学建模

叠加式称重测试系统由步进电机、加荷装置、传感器、开关量控制端和计算机测控系统组成。

叠加式称重测试系统可等效为如图1所示的弹簧-质量-阻尼系统,将被测传感器和标准传感器等效为理想弹簧 $k_1$ 和质量 $m_1$ ,工作台等效为 $m_2$ ,框架等效为弹簧 $k_3$ ,丝杠和减速器及其他弹性元件等效为弹簧 $k_2$ ,其质量忽略。

2002年5月20日收稿

\* 男 38岁 硕士 副教授 主要从事机电控制及自动化方面的研究

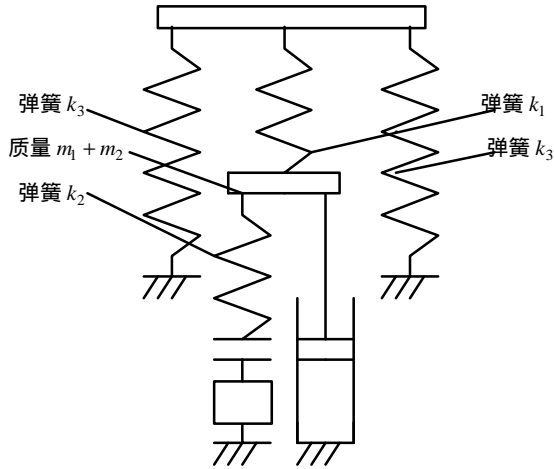


图1 叠加式称重测试系统等效图

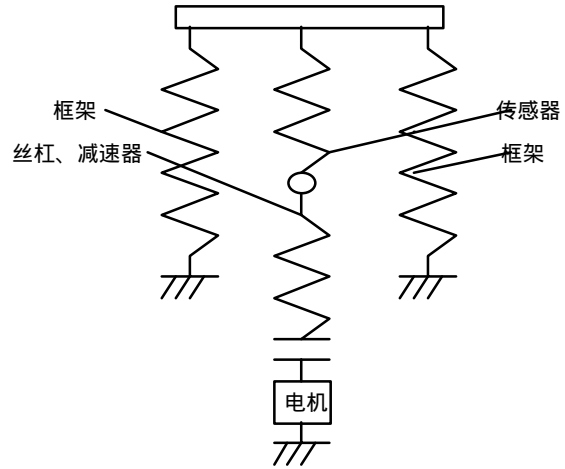


图2 系统简化模型

假定电机的输出转矩等效到垂直方向上的力为  $F$ ，在力  $F$  的作用下  $m$  (包括  $m_1$  和  $m_2$ ) 的位移用  $y$  表示， $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$  和  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  分别表示弹簧  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  的变形和刚度。

根据牛顿定律

$$ma = \sum F = F - F_x - F_{k_1}$$

式中  $F_x = f \frac{dy}{dt}$ ； $F_x$  为阻尼器的粘性摩擦力； $f$  为粘性摩擦系数。

弹簧的弹性力分别为

$$F_{k_1} = k_1 y_1 = k_1 (y - y_3) = F_{k_3} = k_3 y_3 = k_3 (y - y_1)$$

$$F_{k_2} = F = k_2 y_2$$

则

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + f \frac{dy}{dt} + k_1 y_1 = k_2 y_2 \tag{1}$$

系统总的变形量为

$$\sum y = y_1 + y_2 + y_3 = y + y_2$$

根据称重传感器测试系统的传动原理可得<sup>[1]</sup>

$$y + y_2 = \frac{tp_1 q}{360 I_1 I_2}$$

$$y_2 = \frac{tp_1 q}{360 I_1 I_2} - y \tag{2}$$

式中  $p_1$  为输入步进电机的脉冲个数； $q$  为步进电机的步距角； $t$  为丝杠的螺距。

将式(2)代入式(1)得

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + f \frac{dy}{dt} + \frac{k_1 k_3}{k_1 + k_3} y + k_2 y = \frac{16 p_1 q}{360 I_1 I_2}$$

传感器的输出电压与变形量成正比，假设标准传感器的变形量占传感器总变形量的  $1/k'$ ，则有

$$u = \frac{k'' y_1}{k'}$$

式中  $k''$  为放大倍数，令  $k = k''/k'$ ，则  $u = k y_1 = k k_3 y / (k_1 + k_3)$ ，从而可推出

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} + f \frac{du}{dt} + \frac{k_1 k_3}{k_1 + k_3} u + k_2 u = \frac{16 k k_3 p_1 q}{360 I_1 I_2 (k_1 + k_3)} \tag{3}$$

为了简化控制,对系统模型做进一步的简化。当加载的速度较低,加速度很小时,可将系统简化成弹簧的静平衡问题,此时系统模型可等效为如图2所示的弹簧串并联系统。

系统的简化结果为

$$F = k_1 y_1 = k_2 y_2 = k_3 y_3$$

$$y_1 + y_2 + y_3 = \frac{16p_1 q}{360I_1 I_2}$$

$$u = ky_1$$

则

$$\left(1 + \frac{k_1}{k_2} + \frac{k_1}{k_3}\right) u = \frac{16kp_1 q}{360I_1 I_2} \quad (4)$$

## 2 测试结果

试验用传感器为一套额定负荷为100 kN的应变片传感器,激励电压12 V,满量程输出为27.295 mV。试验条件及基本技术性能要求如下:

环境温度: 18°C;

系统误差: 1/10 000(相对满量程);

相邻两点加载荷时间: 30 s;

试验台的水平度: 10 000。

测试数据如表1所示。

表1 测试数据(传感器型号CZL—3.5/7)

序号	载荷/kN	上行程/mV	下行程/mV
1	20	5.455	5.456
2	40	10.920	10.921
3	60	16.380	16.381
4	80	21.838	21.836
5	100	27.295	27.295

## 3 测试数据处理

### 3.1 测试数据处理模型

在使用具有非线性特性的传感器时,一般使用其切线、割线或最小二乘法拟合直线来代替实际曲线的一段。在测量范围内,其非线性的方次一般较低,这样才有可能用直线近似代替实际曲线而不会造成很大的误差,这一特性也给数据处理进行曲线拟合提供了依据。依据测试结果数据,采用最小二乘法分别进行线性及2~4次曲线的拟合。输出-输入特性曲线并不经过每个测试点,但数据的基本变化趋势却是由传感器的输出-输入特性决定的,因此要找到一个最接近实际的近似函数 $f(x_i)$ 。要求 $f(x_i)$ 与 $y_i$ 的偏差 $[y_i - f(x_i)]$ 的平方和最小,按这样的标准确定拟合函数称为最小二乘法拟合。只要求出 $a'_0, a'_1, \dots, a'_n$ 和 $a''_0, a''_1, \dots, a''_n$ ,就可确定传感器的输出-输入特性。采用最小二乘法根据多元函数极值的必要条件,可推导出包含 $a_0, a_1, \dots, a_n$ 的正规方程组为

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 1 & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \cdots & \sum_{i=1}^n x_i^n \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \cdots & \sum_{i=1}^n x_i^{n+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_i^n & \sum_{i=1}^n x_i^{n+1} & \sum_{i=1}^n x_i^{n+1} & \cdots & \sum_{i=1}^n x_i^{2n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_i^n y_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

### 3.2 数据拟合

将表1数据代入式(4)得

#### 1) 线性拟合

$$\begin{cases} y = -0.001801 + 2.729900x \\ y = -0.000298 + 2.729749x \end{cases}$$

#### 2) 二次曲线拟合

$$\begin{cases} y = -0.010809 + 2.733759x - 0.000321x^2 \\ y = -0.009783 + 2.733813x - 0.000339x^2 \end{cases}$$

#### 3) 三次曲线拟合

$$\begin{cases} y = -0.016748 + 2.737927x^2 - 0.001116x + 0.000044x^3 \\ y = -0.017048 + 2.738904x - 0.001308x^2 + 0.000054x^3 \end{cases}$$

#### 4) 四次曲线拟合

$$\begin{cases} y = -0.023190 + 2.744117x - 0.003083x^2 + 0.000281x^3 - 0.000010x^4 \\ y = -0.115590 + 2.733898x^1 + 0.000166x^2 - 0.000119x^3 + 0.000007x^4 \end{cases}$$

对表1数据进行验算, 验算结果如表2~5所示。

表2 线性拟合数据误差

序号	载荷/kN	上行程/mV	下行程/mV
1	20	0.003 0	0.003 2
2	40	-0.002 2	-0.002 2
3	60	-0.002 4	-0.002 8
4	80	-0.000 6	-0.000 3
5	100	0.002 2	0.002 2

表3 二次曲线拟合误差

序号	载荷/kN	上行程/mV	下行程/mV
1	20	0.000 4	0.000 5
2	40	-0.000 9	-0.000 9
3	60	-0.000 2	-0.000 1
4	80	-0.000 7	0.001 1
5	100	-0.000 4	-0.000 5

表4 三次曲线拟合误差

序号	载荷/kN	上行程/mV	下行程/mV
1	20	0	0
2	40	-0.000 1	0.000 1
3	60	0.000 2	-0.000 1
4	80	-0.000 2	0
5	100	0.000 1	0

表5 四次曲线拟合误差

序号	载荷/kN	上行程/mV	下行程/mV
1	20	0	0.000 1
2	40	-0.000 1	-0.000 1
3	60	0.000 1	0.000 1
4	80	0	0
5	100	0	0

由验算结果知,采用三次曲线拟合,最大误差为0.000 2 mV;采用四次曲线拟合,最大误差只有0.000 1 mV。该传感器的满量程输出为27.295 mV,则拟合曲线的满量程误差为:

$$1) \text{ 三次曲线: } \frac{0.000 2}{27.295} = \frac{8}{10^6}$$

$$2) \text{ 四次曲线: } \frac{0.000 1}{27.295} = \frac{4}{10^6}$$

可见,采用三次曲线已经达到满意的程度,为提高精度,使系统能够适应任何型号的传感器,在系统的设计时,选择了四次曲线,传感器输出-输入的特性经验公式为

$$\begin{cases} y' = a'_0 + a'_1 x + a'_2 x^2 + a'_3 x^3 + a'_4 x^4 \\ y'' = a''_0 + a''_1 x + a''_2 x^2 + a''_3 x^3 + a''_4 x^4 \end{cases} \quad (6)$$

在实际应用时,对于具体的传感器由于无法求得 $a'_0$ 、 $a'_1$ 、 $a'_2$ 、 $a'_3$ 、 $a'_4$ 和 $a''_0$ 、 $a''_1$ 、 $a''_2$ 、 $a''_3$ 、 $a''_4$ ,所以采用测试数据的最小二乘法拟合曲线近似代替。

## 4 结 论

本文的数据处理方法经过大量的实验论证后,具有以下特点:

- 1) 采用校正、标定过的应变式传感器能较准确地反映被测力值的大小;
- 2) 叠加式称重方法较好地解决了输出与给定值差值问题;
- 3) 采用最小二乘法四次曲线拟合能较准确反映测试系统的输入-输出。

## 参 考 文 献

- 1 徐创文,朱玉红. 数控技术应用[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2001
- 2 边润强,陈增强. 一种基于Sugeno模糊模型的测量数据处理方法[J]. 仪器仪表学报, 2001, 97(2): 318-320
- 3 梁晋文. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 中国计量出版社, 1989

编 辑 刘文珍

· 成果与专利 ·

## 绝缘栅异质结双极晶体管

绝缘栅异质结双极晶体管给出一簇绝缘栅异质结双极晶体管,其特征在于采用了不同于衬底Si材料的窄禁带SG材料做为源区,并又采用宽禁带材料作为阳极或短路阳极。在本发明中,SG源区窄禁带发射极HBT具有很低的**b**值,使器件闭锁条件得不到满足,而宽带阳极的采用又使器件的阳极发射极度注入能力提高,因而本发明从器件结构上彻底地消除了闭锁效应,并使器件的可靠性、电流能力、速度等性能有显著改善,另可作为崭新的小信号超高增益场控器件。

· 文 争 ·