

35-3P

# 自动称重装置模型的研究

宋寿祥\*  
(重庆建筑大学)

M. Tariq

W. Balachandran

(University of Surrey, 英国)

TP212; TP274.5

A

**摘要** 通常以一个二阶弹性-阻尼系统,作为自动称重装置称重传感器的模型。它只反映了整个系统的一个局部。本文根据称重装置各部份的联系及主要干扰源,提出了一种整个称重装置的模型。仿真结果表明它具有较高的近似程度。

**关键词** 自动称重装置, 称重传感器, 称重的干扰 **数学模型**

**中图法分类号** TP274.5

在工业生产流水线上使用的自动称重装置有两个重要的指标,即称重精度及速度。现在,由于采用了各种新技术,使这两个指标有了相当大的提高。若干年前,称重范围为0~1000g的称重装置,其称重精度为±300 mg,速度为300个/分。目前,对于称重范围相同的称重装置,精度和速度已分别提高到±20 mg,及600个/分。为了进一步提高其性能,有必要分析它的工作状况,研究产生干扰的原因,建立近似程度较高的数学模型,找出改进的途径。通常,以一个简单的弹性-阻尼二阶系统,作为称重装置测量机构可动部分的模型<sup>[1]</sup>。它只反映了整个称重装置的一个局部。更没有考虑系统中的干扰。本文根据称重装置各部分的工作机理、相互联系以及主要的干扰源,提出了一种称重装置的模型

## 1 称重装置的结构及其数学模型

自动称重装置由称重台、重量传感器、传送带等几个子系统组成。在传送带将被称物送上称重台称重然后送出的连续过程中,作用在重量测量机构上的力,除了被称物的实际重力之外,还附加了各种因素产生的干扰。其中有环境的干扰,也有称重装置结构本身所产生的干扰。后者来自机械传动部份齿轮啮合或安装不良、皮带松动打滑、以及转动部份不平衡而产生的离心力等。振动干扰一方面作用在称重机构上,另一方面,由于称重装置本身的振动而使被称物在称重台上振动或摇摆,从而增加额外的干扰。

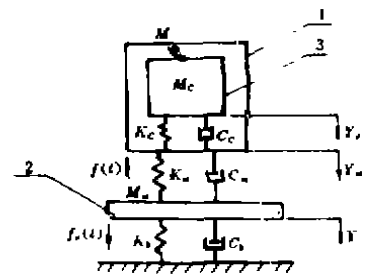


图1 称重装置结构模型

根据系统各主要部份及其相互联系,并考虑作用在测量机构上的垂直方向干扰力,整个

\* 收稿日期:1994-04-02.

\*\* 宋寿祥,男,1936年生,教授,重庆建筑大学机电工程学院(630045).

称重装置的模型如图 1 所示。

图中, 1 — 被动物体(包括包装及内容物), 质量  $M$ , 位移  $y_m$ ; 2 — 测重机构的可动部份, 质量  $M_n$ , 位移  $y$ ; 3 — 被称物体的内容物, 质量  $M_c$ , 位移  $y_c$ 。

由于被称物体的内容物与其包装之间并非紧密的接触, 被称物体及其内容物会因装置本身的振动而振动, 因此, 为反映这种实际状况, 在模型中考虑了被称物体包装物与内容物之间弹性系数  $k_c$  及粘滞阻尼系数  $C_c$ 。同时也考虑了被称物体与传送带之间的弹性系数  $k_n$  和粘滞阻尼系数  $C_n$  以及传送带、测量机构可动部份与基座之间的弹性系数  $k_s$  和粘滞阻尼系数  $C_s$ 。

$f(t)$  为被称物体的重力,  $f_c(t)$  为作用在传送带及称重机构可动部份上的垂直方向的振动干扰。设这个系统的输入量为  $f(t)$  及  $f_c(t)$ , 输出量为  $Y_c(t)$ ,  $Y_n(t)$  及  $Y(t)$ , 则对于图 1 中的三个子系统有如下的运动方程组:

$$\begin{aligned} M_c \frac{d^2(y_c - y_n)}{dt^2} + C_c \frac{d(y_c - y_n)}{dt} + k_c(y_c - y_n) &= 0 \\ M \frac{d^2(y_n - y)}{dt^2} + C_n \frac{d(y_n - y)}{dt} + k_n(y_n - y) + C_s \frac{d(y_n - y_c)}{dt} + k_s(y_n - y_c) &= f(t) \quad (1) \end{aligned}$$

$$M_n \frac{d^2 y}{dt^2} + C_s \frac{dy}{dt} + k_s y + C_n \frac{d(y - y_n)}{dt} + k_n(y - y_n) = f_c(t)$$

取以上方程的拉氏变换并代入零初始条件, 可得:

$$\begin{aligned} (M_c s^2 + C_c s + k_c) y_c(s) - (M_c s^2 + C_c s + k_c) y_n(s) &= 0 \\ (M s^2 + C_n s + C_s s + k_n + k_c) y_n(s) - (M s^2 + C_n s + k_n) y(s) \\ - (C_c s + k_c) y_c(s) &= F(s) \quad (2) \\ (M_n s^2 + C_s s + C_n s + k_s + k_n) y(s) - (C_n s + k_n) y_n(s) &= F_c(s) \end{aligned}$$

写成矩阵形式则有:

$$A \cdot \begin{bmatrix} y_c(s) \\ y_n(s) \\ y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ F(s) \\ F_c(s) \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中

$$A = \begin{bmatrix} (M_c s^2 + C_c s + k_c) & - (M_c s^2 + C_c s + k_c) & 0 \\ - (C_c s + k_c) & M s^2 + C_n s + C_s s + k_n + k_c & - (M s^2 + C_n s + k_n) \\ 0 & - (C_n s + k_n) & (M_n s^2 + C_s s + C_n s + k_s + k_n) \end{bmatrix}$$

式(3)为系统的输入输出模型,  $A^{-1}$  为系统的传递矩阵。传递矩阵中的各参数可用实验方法求出。理论计算中, 在已知系统传递矩阵及输入向量  $[0 \quad F(s) \quad F_c(s)]^T$  的条件下, 即可用最小二乘法或 SVD 法求出系统的输出向量  $[y_c(s) \quad y_n(s) \quad y(s)]^T$ 。

已如前述, 在输入向量中  $F(s)$  的时间函数  $f(t)$  为被称物体移上称重台的过程中, 对传送带及称重机构的垂直作用力。它是时变的, 与被称物的质量、形状、包装方式及移动速度有

关。如被称物为散装颗粒状固体、液体或整块固体，则  $f(t)$  会具有不同的形式。按实验及理论计算的结果<sup>[1]</sup>，从测量机构的响应可知，被称物为散装颗粒状固体时， $f(t)$  为一正弦函数，即

$$f(t) = \begin{cases} 0 & (t \leq 0) \\ m \sin \omega_1 t & \left\{ 0 < t < \frac{\pi}{2\omega_1} \right\} \\ m & \left\{ t \geq \frac{\pi}{2\omega_1} \right\} \end{cases} \quad (4)$$

式中  $m$ —被称物重量；

$T$ —被称物移上称重台所需的时间。

被称物为整块固体时， $f(t)$  为一斜坡函数，即

$$f(t) = \begin{cases} 0 & (t \leq 0) \\ \frac{m}{T} t & (0 < t < T) \\ m & (t \geq T) \end{cases} \quad (5)$$

实际上，如被称物的形状比较规则且为整块固体，则可以容易地写出其  $f(t)$ 。

输入向量中  $F_v(s)$  的时间函数  $f_v(t)$  为称重装置本身产生的垂直方向的干扰力。为了作适当的简化，可以认为它主要是由于称重装置转动部件动不平衡而存在的离心力造成的。总的直接作用在传送带和称重机构可动部份上的干扰力，应为各转动部件所产生的干扰力之和，即

$$f_v(t) = \sum_{i=1}^n M_i r_i \omega_i^2 \sin(\omega_i t + \phi_i) \quad (6)$$

式中  $n$ —系统转动部份数；

$\omega$ —各转动部份的角速度；

$r$ —各转动部份的偏心矩；

$\phi$ —初始角。

经拉氏变换，可得

$$F_v(s) = \sum_{i=1}^n m_i r_i \omega_i^3 \frac{e^{i\phi_i}}{s^2 + \omega_i^2} \quad (7)$$

## 2 仿真及结论

仿真及实验所用的标准模块为一中空的圆柱体，中空部份亦为圆柱形，其剖面图如图2所示。

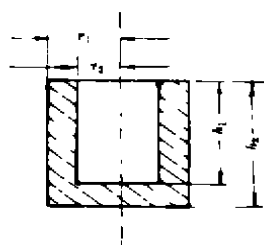


图 2 标准模块剖面图

这模块的重力函数  $f(t)$  可以算出。令  $V_1(t)$  为标准模块移上称重台时,以  $r_1$  为半径的实心圆柱体的体积函数,则有

$$V_1(t) = \left\{ \frac{r_1^2}{2} \left[ \sin^{-1} \left( \frac{Vt - r_1}{r_1} \right) + \frac{(Vt - r_1) \sqrt{r_1^2 - (Vt - r_1)^2}}{r_1^2} \right] + \frac{r_1^2 \pi}{4} \right\} h_1$$

$$0 < t < 2r_1/V \quad (8)$$

式中  $V$  为传递带的线速度。令  $V_2(t)$  为以  $r_2$  为半径的圆柱形中空部份的体积函数,则有

$$V_2(t) = \left\{ \frac{r_2^2}{2} \left[ \sin^{-1} \left( \frac{Vt - r_1}{r_2} \right) + \frac{(Vt - r_1) \sqrt{r_2^2 - (Vt - r_1)^2}}{r_2^2} \right] + \frac{r_2^2 \pi}{4} \right\} h_2$$

$$\frac{r_1 - r_2}{V} < t < \frac{r_1 + r_2}{V} \quad (9)$$

可得

$$f(t) = G[V_1(t) - V_2(t)] \quad (10)$$

式中,  $G$  — 标准模块材料的比重。

用以进行理论计算和实验比较的模块的参数如下:  $r_1 = 7.5$  cm,  $r_2 = 5$  cm,  $h_1 = 10$  cm,  $h_2 = 8$  cm, 重量为 300 g,  $v = 20$  m/s。

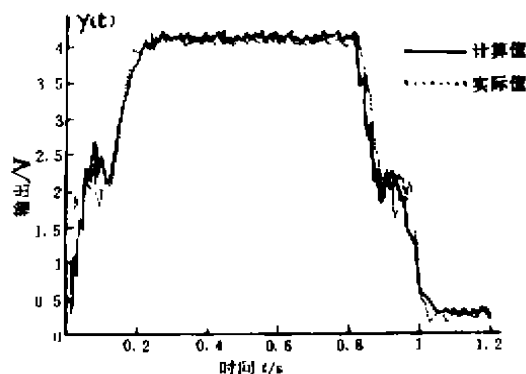


图 3 系统输出响应曲线

图 3 所示为称重装置输出响应  $y(t)$  的理论和实验曲线,图 4 为输出响应  $y(t)$  的频谱密度图。图中实线为理论值,点线为实验值。 $y(t)$  的值以称重机构相应的电压输出值(V)表示。由图 3 可见,按所提出的模型进行理论计算,得到的结果与实验结果相当接近。这个模型既考虑了组成称重装置各主要的子系统及其相互关系,同时又考虑了系统本身的干扰。因此,

较为深入而客观地反映了称重装置的实际工作状况,具有较高的近似程度。稳定测量时干扰电平仅相差1%。但在传送带速度超过80 m/s时,差异增大。如传送带速度达到100 m/s时,增大5%。这可以认为是某些被简化了的因素及非线性影响所造成的。

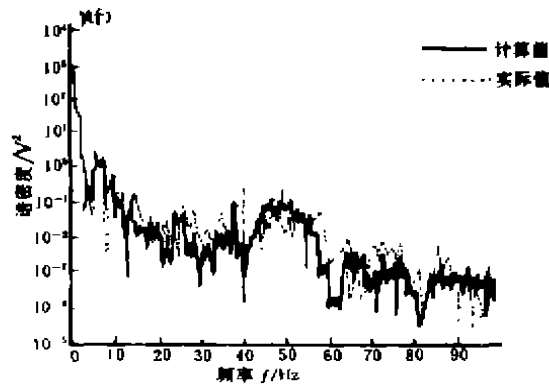


图4 系统输出响应频谱图

#### 参 考 文 献

- 1 奥村和久等. オトチュウカの応答特性につひての考察. ワンリツテケニカル. (41)号. p. 49~53
- 2 Rudolf Maier. Integrated Digital Control and Filtering for an Electro-dynamically Compensated Weighing Cell. IEEE. 1989(38), 5
- 3 北森俊行. 计测の本质と计测工学. 计测と制御, 26-2, 1987, p. 145~152
- 4 B. Beets. Analysis and Modeling of Checkweigher Weighing Systems. Technisches Messen (Germany), Vol. 50, No. 9, 1983, p. 337~45

(编辑: 刘家凯)

## RESEARCH OF MODEL OF AUTOMATIC CHECKWEIGHER

*Song Shouxiang*

(Chongqing Jianzhu University)

*M. Tariq*

(University of Surrey U. K. )

*W. Balachandran*

**ABSTRACT** Generally, a second order spring-damper system is used to represent the model of weighing sensor in checkweigher. It only represents one part of checkweigher. In this paper, according to the relationships of individual parts of checkweigher and main disturbance source, a model is proposed for whole checkweigher. It is proved by simulation that this model is in a good approximation.

**KEY WORDS** automatic checkweigher, weighing sensor, disturbance of a checkweigher