

动态电子秤技术

DONGTAIDIANZICHENGJISHU

李志鹏 编著



东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

动态电子秤技术/李志鹏编著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2007.8
ISBN 978-7-81131-069-6

I. 动… II. 李… III. 动态-电子秤 IV. TH715.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 134307 号

责任编辑: 姜俊清

封面设计: 魏丽娜



NEFUP

动态电子秤技术

Dongtai Dianzicheng Jishu

李志鹏 编著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

哈尔滨市工大节能印刷厂印装

开本 850 × 1168 1/32 印张 4.5 字数 100 千字

2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978-7-81131-069-6

TH·42 定价: 15.00 元

前 言

我国工农业生产的加速发展,对生产过程中的称重技术和控制技术提出了更高和更新的要求,电子动态称重具有称重速度快、测量准确、能在生产环节中被使用等诸多优点,被广泛应用于工农业生产和商业流通中。

动态电子秤是随着电子技术和微电脑技术的发展而迅速发展的,也随着控制技术和滤波技术的发展而发展。编著者根据多年的实践和实际体会,总结了国内外有关的动态电子秤技术系统理论和成果着力反映了动态电子秤的设计思想和设计过程及应用案例,深入浅出,对与测量系统有关的共同性理论和方法进行了系统而全面的阐述。

本书内容共分 6 章:

第一章 动态电子秤基础。介绍了电子秤的发展现状、组成、形式和测量误差的处理。

第二章 称重传感器技术。对各种用于称重的传感器进行了详细的介绍和使用方法。

第三章 测试信号的转换与调理。阐述了交直流测量信号的测试方法,对调制与解调、硬件滤波和 A/D 转换器形式及建立进行了分析。

第四章 动态电子秤数学模型的建立。根据系统的时域模型,建立并分析了数学模式的形式及分析方法。

第五章 计算机测试技术。采用具体的实例,对计算机测试系统的数据采集通道、计算机测控系统和抗干扰技术进行了详细地描述。

第六章 动态电子秤计算机检测系统技术。对组成的计算机各个部分进行了详细而细致的阐述。

目 录

1	动态电子秤技术基础	1
1.1	称重技术的起步与发展现状	1
1.1.1	质量计量的起源	1
1.1.2	现代质量计量技术的发展	1
1.1.3	动态称重	3
1.2	称重技术的理论基础和测量方法	3
1.2.1	称重技术的理论基础	3
1.2.2	惯性质量的测量方法	3
1.2.3	连续线形载荷重力的测量	6
1.3	动态电子秤的组成	10
1.3.1	动态电子秤的定义	10
1.3.2	电子秤的组成	10
1.4	动态电子秤测量误差的来源及处理	11
1.4.1	系统误差	11
1.4.2	振动误差	13
1.4.3	具有系统误差测量数据的处理方法	14
1.4.4	随机误差	16
2	称重传感器技术	21
2.1	应变片力传感器	21
2.2	电感式力传感器	23
2.3	电容式力传感器	25
2.4	磁弹性力传感器	26
2.5	压电力传感器	27
2.6	称重传感器的选择	29
3	测试信号的转换与调理	31

3.1	电桥	31
3.1.1	直流电桥	31
3.1.2	交流电桥	34
3.1.3	变压器式电桥	36
3.1.4	电桥使用中应注意的问题	37
3.2	调制与解调	40
3.2.1	幅值调制与解调	41
3.2.2	频率调制原理	45
3.3	滤波	48
3.4	模拟/数字转换器	51
3.4.1	模拟信号的量化	51
3.4.2	模拟/数字(A/D)转换器	52
3.4.3	抗混滤波器	56
3.4.4	数字/模拟(D/A)转换器	57
4	动态电子秤数学模型的建立	60
4.1	引言	60
4.2	动态电子秤运行时常见的振动类型	61
4.3	动态电子秤的振动分析	61
4.4	动态电子秤振动模型	63
4.5	弹性支撑的单质量转子的自激振动	65
5	计算机测控技术	67
5.1	计算机测控系统的输入与输出通道	67
5.1.1	模拟量输入通道	68
5.1.2	模拟量输出通道	69
5.1.3	数据采集系统	70
5.2	信号的采集与处理	71
5.2.1	信号的采样	71
5.2.2	信号整周期截取的软、硬件实现	76
5.2.3	信号的数字滤波	81
5.2.4	基于小波滤波的数字信号处理方法	89

5.3 计算机测控系统	98
5.3.1 计算机测控系统的概念	98
5.3.2 计算机控制系统的类型	102
5.3.3 计算机测控系统的指标	109
5.4 抗干扰技术	110
5.4.1 常态干扰与共态干扰	111
5.4.2 常态干扰的抑制	113
5.4.3 共模干扰的抑制	115
5.4.4 其他抗干扰措施	119
6 动态电子秤计算机检测系统设计	122
6.1 动态电子秤控制和测量系统的组成	122
6.2 称重传感器和信号放大系统	122
6.3 计算机控制采集系统	124
6.3.1 16 位高精度 A/D 转换器 ADS7809	125
6.3.2 不掉电 RAM 的时钟芯片 DS12887/ DS12C887	126
6.3.3 可擦除的 ROM 芯片 X25045	128
6.3.4 GAL 器件设计	128
6.4 动态电子秤计算机软件系统的设计	130
6.4.1 系统的初始化	130
6.4.2 顺序小波滤波程序的设计	131
6.4.3 对称小波程序的设计	133
参考文献	135

1 动态电子秤技术基础

1.1 称重技术的起步与发展现状

1.1.1 质量计量的起源

称重技术自古以来就被人们所重视,在传说的黄帝“设五量”中,权衡即为五量之首,说明了古代称重技术在我国所处的位置和重要性。

据考证,世界上最古老的计量器具出土于埃及,估计距今约为 5 000 年,最古老衡器的残存物现存放在英国伦敦博物馆,它是带红色石灰石制成的天平的横梁,出自于约公元前 2 500 年埃及第三王朝。

1.1.2 现代质量计量技术的发展

电子秤的发展过程与其他事物一样,也经历了由简单到复杂、由粗糙到精密、由机械到机电结合再到全电子化、由单一功能到多功能的过程。特别是近 30 年以来,工艺流程中的现场称重、配料定量称重以及产品质量的监测等工作,都离不开能输出电信号的电子衡器,这是由于电子衡器不仅能给出质量值的信号,而且也能作为总系统中的一个单元承担着控制和检验功能,从而推进工业生产和贸易交往的自动化和合理化。

近年来,电子衡器已愈来愈多地参与到数据处理和过程控制之中,现代称重技术和数据系统已经成为工艺技术、储运技术、预包装技术、收货业务及商业销售领域中不可缺少的组成部分。

我国电子秤技术在 20 世纪 70 年代中由于电阻应变式称重传

感器技术上的突破,取得了历史性的进展,各种电子秤如雨后春笋,被国民经济各部门逐步应用,如冶金工业中生产过程的物料配比称重和钢水包浇灌铸件的称重、轻纺工业生产过程中的工艺称重和打包计量、煤炭能源工业中的连续物料称重计量和能源结算、储运物资部门的材料核算和物资称重、食品工业中的自动检验和分选称量、饲料的配料称重、电子元器件生产过程的计数称重以及日常生活中商业贸易流通领域的计价称重等均离不开电子秤技术。另外,在交通运输部门的汽车机车的轮重、轴重计量,建筑部门起重吊装设备的超载保护等也离不开电子秤技术。在医疗领域为研究人体的新陈代谢和热量的调节机能,以获得人体因出汗和因心脏脉动而引起体重减少的多种连续蓝线等也离不开电子称重装置。以上仅是电子秤技术在国民经济中应用的几个方面,从这些例子已足以看出电子秤技术的重要性和它应用的广泛性。总之,电子秤技术在社会进步中发挥着它的作用,并且已为人们越来越重视。

电子秤不仅要向高精度、高可靠方向发展,而且更需向多种功能的方向发展。目前电子秤的附加功能主要有以下几种:

(1)电子秤附加了处理机构计算机信息补偿装置,可以进行自诊断、自校正和多种补偿计算和处理。

(2)具有皮重、净重显示等特种功能。有些电子秤已具备了动态称量模式,即通过进行算术平均数字信号处理技术、积分处理和自动调零等方法,消除产生的误差。

(3)附加特殊的数据处理功能和其他功能。目前的电子秤有附加多种计算和数据处理功能,以满足用户多种功能使用的要求,由于用户的要求不同,电子秤也附加了其他特殊功能。

今后,随着电子计算机的飞速发展,电子秤技术的发展定将日新月异。同时功能更加齐全的高精度的先进电子秤将会不断问世,其应用范围也会更加拓宽。

1.1.3 动态称重

所谓动态称重主要包括以下两个方面的内容：

(1) 被称重物在运动状态中通过秤台；

(2) 称重系统处于动态或者说是瞬态变化之中称重，同时信号不能达到稳态。

严格说来现阶段的动态轨道衡和动态汽车衡只能算是准动态称重，这是因为现在所谓的动态轨道衡和动态汽车衡都是只对动态称重信号做简单的数字滤波处理，而缺乏更深一层次的信号处理技术，这就需要探索新的方法来处理动态变化中的称重信号。

1.2 称重技术的理论基础和测量方法

1.2.1 称重技术的理论基础

称重技术的中心任务是确定被测物的重量(或质量)。

在物理空间，质量是以在机械转换系统里动能的形式出现的，它表征了储能体的贮能能力 E ：

$$E = 1/2 m V^2 \quad (1-1)$$

式中： V ——物体的运动速度。

所以质量 m 是一个特征量，它不能自动地给出信息，质量基本上不能直接测量，而只能间接地利用质量的特点和状态的变化，并借助于诸如力、转矩、压力、横向加速度、转速、流速等物理量的作用下通过外部能量交换来进行测量的。

实际的测量方法中，主要是通过牛顿运动定律式(1-2)所描述的所谓“惯性质量”性质而建立的：

$$F = ma \quad (1-2)$$

1.2.2 惯性质量的测量方法

(1) 按运动定律测定质量

根据牛顿运动定律式(1-2)而工作的衡器,按工作原理的不同,分为两类:

①加速度式衡器。给待求的质量 m_x 和衡器的静止载荷 m_0 一个共同已知的加速度 a ,然后测量为此所需要的力 F :

$$F = a(m_0 + m_x) \quad (1-3)$$

②力(已知)式衡器。这种衡器与上述加速度式衡器相反,测量在已知力 F 的作用下, m_x 和 m_0 所获得的加速度 a :

$$a = \frac{F}{m_0 + m_x} \quad (1-4)$$

即对被称物 m_x 连同静止载荷 m_0 一起施加随时间按正弦变化的加速度 $a(t)$,然后测量传递到承载器上的加速力:

$$F = (m_0 + m_x)a(t) \quad (1-5)$$

$a(t)$ 可以采用一个以恒定角速度旋转的偏心轮驱动器来产生,这时传递到承载器上的加速力,可通过测力传感器转变成交变电信号,再经过交流放大器,相敏检波器和低通滤波器后,直接与A/D转换器连接,实现测量显示和存储等功能。这种交变加速度式衡器的优点是结构简单,对重力加速度和衡器本身在引力场空间位置的静态改变均不敏感;其缺点是只有整个被称物能跟得上强加给它的交变速度时,才能得到准确的称量结果,因而只能对 Σ 非弹性的固体或者不可压缩的液体进行称重。

(2)按动量定理测定质量

把牛顿运动定律的式(1-2)对时间积分,可得到动量定律

$$\int_{t_1}^{t_2} F(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} ma(t) dt = m[v(t_2) - v(t_1)] \quad (1-6)$$

这个定理已在匀力式衡器中被应用,即在定义的时间间隔 Δt 上,以恒定的力 $F_a = K$ 使系统质量 m_Σ 加速,然后通过例如测量双线干涉仪的位移脉冲上的频率 f_s 的办法,测定从 $V(t_0) \approx 0$ 状态起所达到的速度 $V(t_1 + \Delta t)$,从而由下式得到 m_Σ 。

$$m_\Sigma = m_0 + m_x = \frac{F_a \Delta t}{v(t_1 + \Delta t)} m \quad (1-7)$$

这种称重方法的缺点是由于在加速阶段结束后进入均匀运动的过

程里,要经历与结构有关的起振过程,因此必须在一段较长的时间上观察 $V(t > t_l + \Delta t)$, 从而,需要有一段较长的测量行程,在这段行程上,平行导向件的摩擦力和弹性力的干扰,在某些情况下会明显增加。

在被称物比较坚硬,而且同承载器之间联结的状态良好时,这种秤具有较好的测量准确度,图 1-1 为利用动量定理的一种冲量式皮带秤。

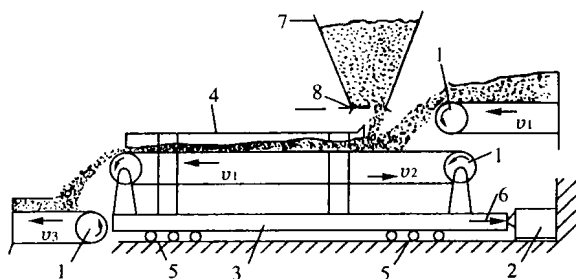


图 1-1 冲量式皮带秤

1 - 皮带机; 2 - 力传感器; 3 - 机架; 4 - 挡板; 5 - 水平导向件; 6 - 被测力; 7 - 贮料仓; 8 - 闸板

其工作原理如下:由被称物料传递到皮带上的所有被测力 6, 可以借助于力传感器 2 连续测量出来,物料在闸板 8 调节下连续地由贮料仓 7 中被取出,自由地无水平初速度地 ($V_0 = 0$) 落在皮带上,与机架 3 固结在一起的挡板 4,不让物料从上方或者侧面散落出皮带,在挡板 4 上出现的制动摩擦力不会引起测量误差,因为它只不过以负号计入被测力 6 而已。

冲量式皮带秤在 t_A 到 t_B 时间里经过测量段所输送的被称物的总质量 m_x 为:

$$m_x = \sum_{i=1}^n \delta_{mi} = \frac{1}{v_e - v_0} \int_{t_A}^{t_B} F_R(t) dt \quad (1-8)$$

式中: δ_{mi} ——被称散料构成的质量元;

V_0 ——初始速度;

V_e ——末速度；

$F_R(t)$ ——滑动摩擦力(被测力)。

冲量式皮带秤的一个优点是用水平速度之差 $V_e - V_0$ 去除以被测力 $F_R(t)$ ，而给出相应于过秤质量流的瞬时值的信号。

(3) 按动量守恒定理测定质量

根据两个质量 m_1 和 m_2 被相互间的内力 F_i 所加速，同时受到相应的导轨阻止和不产生转动时的动量守恒定理有：

$$m_1 V_1 = m_2 V_2 \quad (1-9)$$

按此关系，制成一台如图 1-2 所示的反作用力式秤来计量质量。其工作原理如下：由已知质量为 m_N 的标准器作为 m_1 ，其中包括直线电机 1 定子的质量。直线电机 1 转子向承载器 2 和被称物 m_x 施加作用力，它们合在一起具有质量 m_2 。 m_1 和 m_2 由空气轴承水平导向机构 3 严格地水平引导，以很好地消除重力影响，称量过程一开始，通过柔软的导线，把 1 与电流源短时间地接通，在这两个质量之间产生内力 F_i （力的大小与持续时间无关）。如图 1-2 所标明的那样，用两个干涉仪 8 把 V_1 和 V_2 这两个速度，变换成与之严格成比例的脉冲频率 f_1 和 f_2 。

利用电子线路技术能准确地求出这两个频率的商，并直接给出数字值，从而得到称量结果：

$$m_2 = m_x = m_0 = m_N \frac{f_1}{f_2} \quad (1-10)$$

再减去先前调零时测定的质量 m_2 的静载荷 m_0 ，就得到被测物的 m_x 。适当地选择激发电流脉冲的作用时间，就可在对被称物进行加速时，不出现剧烈起振过程。

1.2.3 连续线形载荷重力的测量

这种连续线形载荷重力质量的测量方法是很有实用意义的，通常对支承力进方检测的连续累计自动秤，即重力式皮带秤，如图

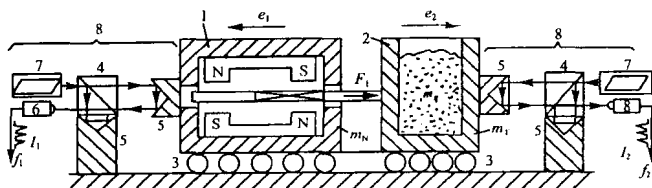


图 1-2 反作用力式秤

1 - 直线电机; 2 - 承载器; 3 - 水平导向构件; 4 - 分光器;

5 - 反射棱镜; 6 - 光电探测器; 7 - 激光器; 8 - 干涉仪

1-3 所示即为其典型的实例,重力式皮带秤分加法型和积分型两类。

(1) 加法型皮带秤

它使用皮带行程传感器,每当皮带被传送过一个标准距离 $LB = n \cdot a$ 时,就向求重装置发出一个询问脉冲,求重装置从开始输送物料时起,就在每个询问对刻 t_v ,把称重传感器发送的被测支承力 $F(t)$ 的瞬时值 $F(t_v)$ 存入存贮器,并且把输料过程中所有的 q 个瞬时值累加起来。

$$\sum_{\mu}^q = 1F(tp) = g \sum_{u=1}^q \int_{-(n-1)/2 \times a}^{+(n+1)/2 \times a} p(x, tu) f_c(x) dx = gmx \quad (1-11)$$

这里 g 为重力加速度。

这种秤的缺点是在询问时刻处在 $(n-1)a/2 \leq |x| \leq (n+1)a/2$ 的线载荷单元时,重量函数 $f_0(x)$ 的关系不容易测出,因而皮带载荷不均匀时,会产生测量偏差,这种秤只能在皮带速度很慢时工作。

(2) 积分型皮带秤

此种秤使用了测皮带速度的传感器,建立起支承力 $F(t)$ 与皮带速度 $v(t)$ 乘积 $y(t)$ 的联系。

$$y(t) = F(t)v(t) = gu(t) \int_{-\frac{n+1}{2}a}^{\frac{n+1}{2}a} f_c(x) p(x, t) dx = gnaq_m(t) \quad (1-12)$$

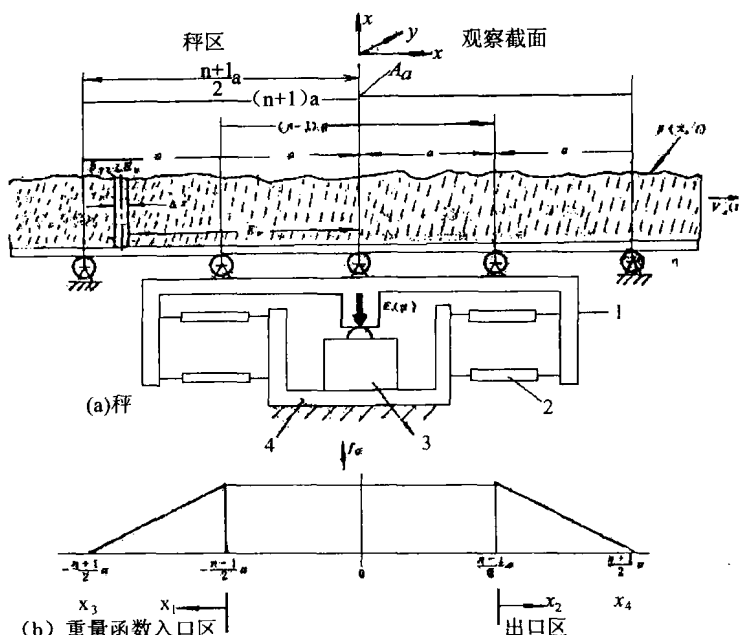


图 1-3 加法型皮带秤

1 - 称重托辊框架; 2 - 平行导向体; 3 - 称重传感器; 4 - 支架

在 t_a 到 $t_a + T_B$ 时间内多通过皮带秤上的物料总质量 m_x 是通过质量流信号 $y(t)$ 对时间积分而得到的。

$$\int_{t_a}^{t_a + T_B} y(t) dt = g \int_{t_a}^{t_a + T_B} v(t) \int_{-\frac{n+1}{2}a}^{\frac{n+1}{2}a} f_c(x) p(x, t) dx dt = g n a m_x \quad (1-13)$$

尽管式(1-13)复杂,但在假设的理想条件下,即使输料期间速度 $V(t)$ 有变化,皮带载荷的波动也较大,但只要选举好 T_B ,使测量一开始的 t_a 和结束时的 $t_a + T_B$,这部分被称物料都在秤的称量段 L_w 内,就能做到没有偏差。

(3) 定量自动包装电子秤

定量自动包装电子秤是以自动称量方式将散状物料按预定重力等量分装的称量装置,也被称为灌包秤或充填机,以下简称包装

秤。包装秤是电子称量与自动控制相结合的定量自动控制装置，具有自动完成称量和定量程序控制的功能。它定量包装效率高，每小时为 500 ~ 2 000 袋。

定量包装秤主要由秤体和电子称量控制系统两部分组成。秤体部分又由缓冲料斗、给料门、称料门及卸料门组成。电子称量控制系统则由传感器电子控制单元和动作执行元件组成。

给料门控制给料量，有三级给料和二级给料两种方式。这两种给料方式执行机构的控制比较简明，给料状态比较好。称量斗外形一般为矩形，矩形称量斗适合于采用多个传感器的结构。

对于三级给料方式，总给料的量为公式(1-14)。

$$W = \int_{t_0}^{t_1} q_1 \gamma dt + \int_{t_1}^{t_2} q_2 \gamma dt + \int_{t_2}^{t_3} q_3 \gamma dt \quad (1-14)$$

对于二级给料方式，总给料的量为公式(1-15)。

$$W = \int_{t_0}^{t_1} q_1 r dt + \int_{t_1}^{t_2} q_2 \gamma dt \quad (1-15)$$

式中：W—额定重量；

q——流率， q_1 、 q_2 、 q_3 位各给料的流率；

γ ——物料的比重；

t——时间。

从式(1-14)、式(1-15)可以看出前级给料流率大，用较短的时间加入额定重量的 90% ~ 95% 的物料，而末级给料流量小，用去整个周期的 1/2 ~ 1/3 时间，仅加入额定重量的 5% ~ 10% 的物料。概括地讲，前级给料侧重于缩短称量周期，以保证包装效率，而末级给料侧重于保证称量精度。以上的动态称量公式定性地描绘了这一过程。实际上各级给料流量和加料时间的选择，需要根据给料装置的结构和实际被称物料的性质，并经现场调试才能最后确定。

以上简单地介绍了理想情况下自动定量控制过程，它与实际动态控制过程之间还存在某些差异。在实际调试中要注意物料冲击及由于冲击所产生的振荡。

(4) 皮带秤的干扰影响

皮带秤的主要干扰有：

①输送带单位长度质量 p_F ，波动大，刚性和几何尺寸不均匀。

②称重托辊和其他托辊间，只要有一点非准直性就会引起很大的零点偏差，此偏差主要取决于称量段皮带张力的大小，当称重托辊由于其座刚性差或者称重传感器刚性太差而产生不可忽视的位移时，零点偏差对称量范围还有附加影响。

③当皮带打滑以及皮带张力引起的各点皮带伸长不一致时，带速测量偏差就较大，因此尽量采用非接触式测速方法。

④槽形皮带，其载荷分布状况的不同会改变槽形的形状，从而改变皮带的有效抗弯力矩，这对零点和灵敏度有很大的影响。

⑤由于输送机基础的柔度太大而导致托辊准直性随载荷大小而变化。

⑥称重托辊粘脏污或积尘会加剧零点偏移。

1.3 动态电子秤的组成

1.3.1 动态电子秤的定义

众所周知，衡器是确定物体的质量或者作为质量函数的其他参数的一种计量仪器，电子秤是装有电子装置的一种衡器，电子装置可以是一个完整的衡器，也可以是衡器的一个部分。

1.3.2 电子秤的组成

不论属于什么原理测定物体质量的电子秤，均由以下三部分组成：

(1) 承重、传力复位系统

它是被称物体与转换元件之间的机械、传力复位系统，又称电子秤的秤体，一般包括接受被称物体载荷的承载器、秤桥结构、吊挂连接部件和限位减振机构等。

(2) 称重传感器

即由非电量(质量)转换成电量的转换元件,它是把支承力转换成电的或其他形式的适合于计量求值的信号所用的一种辅助手段,符合这个定义的力传感器分两大类:

①第一类称重传感器,用于机电结合式电子秤的称重装置内部,只测量一个按纯机械式衡器经过传力比变换成适当范围的力的转换元件,这类传感器大都屏蔽于被称物周围环境影响,因而不必对其结构上抑制侧向力、偏载和环境影响多加考虑。

②第二类称重传感器是直接作为承载器支点的全电子式衡器的转换元件,这种传感器的最大载荷要根据可能出现的最大静态和动态支承力来确定,而且其结构形式应使它具有抗干扰能力,并能抑制侧向力和转矩的不良影响。

对称重传感器的基本要求是:输出电量与输入重量保持单值对应,并有良好的线性关系;有较高的灵敏度;对被称物体的状态的影响要小;能在较差的工作条件下工作;有较好的频响特性和较小的惯性;稳定可靠。

(3) 测量显示和数据处理

即处理称重传感器信号的电子线路(包括放大器、模数转换、电流源或电压源、调节器、补偿元件、保护线路等)和指示部件(如显示、打印、数据传输和存贮器件等),这部分习惯上称载荷测量装置或二次仪表,最后经计算机处理。在数字式的测量电路中,通常包括前置放大、滤波,运算,变换、计数,A/D转换、寄存、控制显示等功能,因而电子秤能完成无人操作,自动识别等更复杂的功能,对测量电路应具有高的信噪比和足够的增益,以及尽可能小的失真。

1.4 动态电子秤测量误差的来源及处理

1.4.1 系统误差

在研究随机误差处理方法的时候,是以测量数据中不含有系统误差为前提,即总是假设系统误差不存在或已消除。然而在测量实践中,不可避免地会存在系统误差,甚至在有些情况中系统误