

# 称重传感器

称重传感器实际上是一种将质量信号转变为可测量的电信号输出的装置。用传感器首先要考虑传感器所处的实际工作环境，这点对正确选用称重传感器至关重要，它关系到传感器能否正常工作以及它的安全和使用寿命，乃至整个衡器的可靠性和安全性。在称重传感器主要技术指标的基本概念和评价方法上，新旧国标有质的差异。

## 简介

传统概念上，负荷传感器是称重传感器、测力传感器的统称，用单项参数评价它的计量特性。旧国标将应用对象和使用环境条件完全不同的“称重”和“测力”两种传感器合二为一来考虑，对试验和评价方法未给予区分。旧国标共有 21 项指标，均在常温下进行试验；并用非线性、滞后误差、重复性误差、蠕变、零点温度附加误差以及额定输出温度附加误差 6 项指标中的最大误差，来确定称重传感器准确度等级，分别用 0.02、0.03、0.05 表示。

## 称重传感器

衡器上使用的一种力传感器。它能将作用在被测物体上的重力按一定比例转换成可计量的输出信号。考虑到不同使用地点的重力加速度和空气浮力对转换的影响，称重传感器的性能指标主要有线性误差、滞后误差、重复性误差、蠕变、零点温度特性和灵敏度温度特性等。在各种衡器和质量计量系统中，通常用综合误差带来综合控制传感器准确度，并将综合误差带与衡器误差带(图 1)联系起来，以便选用对应于某一准确度衡器的称重传感器。国际法制计量组织(OIML)规定，传感器的误差带 $\delta$ 占衡器误差带 $\Delta$ 的 70%，称重传感器的线性误差、滞后误差以及在规定温度范围内由于温度对灵敏度的影响所引起的误差等的总和不能超过误差带 $\delta$ 。这就允许制造厂对构成计量总误差的各个分量进行调整，从而获得期望的准确度。

## 分类

称重传感器按转换方法分为光电式、液压式、电磁力式、电容式、磁极变形式、振动式、陀螺仪式、电阻应变式等 8 类，以电阻应变式使用最广。

## 光电式传感器

包括光栅式和码盘式两种。

光栅式传感器利用光栅形成的莫尔条纹把角位移转换成光电信号(图 2)。光栅有两块，一为固定光栅，另一为装在表盘轴上的移动光栅。加在承重台上的被测物通过传力杠杆系统使表盘轴旋转，带动移动光栅转动，使莫尔条纹也随之移动。利用光电管、转换电路和显示仪表，即可计算出移过的莫尔条纹数量，测出光栅转动角的大小，从而确定和读出被测物质量。

码盘式传感器(图 3)的码盘(符号板)是一块装在表盘轴上的透明玻璃，上面带有按一定编码方法编定的黑白相间的代码。加在承重台上的被测物通过传力杠杆使表盘轴旋转时，码盘也随之转过一定角度。光电池将透过码盘接受光信号并转换成电信号，然后由电路进行数字处理，最后在显示器上显示出代表被测质量的数字。光电式传感器曾主要用在机电结合秤上。

## 液压式传感器

如图 4 所示，在受被测物重力  $P$  作用时，液压油的压力增大，增大的程度与  $P$  成正比。测出压力的增大值，即可确定被测物的质量。液压式传感器结构简单而牢固，测量范围大，但准确度一般不超过 1/100。

## 电磁力式传感器

它利用承重台上的负荷与电磁力相平衡的原理工作(图 5)。当承重台上放有被测物时，杠杆的一端向上倾斜；光电件检测出倾斜度信号，经放大后流入线圈，产生电磁力，使杠杆

恢复至平衡状态。对产生电磁平衡力的电流进行数字转换，即可确定被测物质量。电磁力式传感器准确度高，可达  $1/2000 \sim 1/60000$ ，但称量范围仅在几十毫克至 10 千克之间。

#### 电容式传感器

它利用电容器振荡电路的振荡频率  $f$  与极板间距  $d$  的正比例关系工作(图 6)。极板有两块，一块固定不动，另一块可移动。在承重台加载被测物时，板簧挠曲，两极板之间的距离发生变化，电路的振荡频率也随之变化。测出频率的变化即可求出承重台上被测物的质量。电容式传感器耗电量少，造价低，准确度为  $1/200 \sim 1/500$ 。

#### 磁极变形式传感器

如图 7 所示，铁磁元件在被测物重力作用下发生机械变形时，内部产生应力并引起磁率变化，使绕在铁磁元件（磁极）两侧的次级线圈的感应电压也随之变化。测量出电压的变化量即可求出加到磁极上的力，进而确定被测物的质量。磁极变形式传感器的准确度不高，一般为  $1/100$ ，适用于大吨位称量工作，称量范围为几十至几万千克。

#### 振动式传感器

弹性元件受力后，其固有振动频率与作用力的平方根成正比。测出固有频率的变化，即可求出被测物作用在弹性元件上的力，进而求出其质量。振动式传感器有振弦式和音叉式两种。

振弦式传感器的弹性元件是弦丝。当承重台上加有被测物时，V 形弦丝的交点被拉向下，且左弦的拉力增大，右弦的拉力减小。两根弦的固有频率发生不同的变化。求出两根弦的频率之差，即可求出被测物的质量。振弦式传感器的准确度较高，可达  $1/1000 \sim 1/10000$ ，称量范围为 100 克至几百千克，但结构复杂，加工难度大，造价高。

音叉式传感器的弹性元件是音叉。音叉端部固定有压电元件，它以音叉的固有频率振荡，并可测出振荡频率。当承重台上加有被测物时，音叉拉伸方向受力而固有频率增加，增加的程度与施加力的平方根成正比。测出固有频率的变化，即可求出重物施加于音叉上的力，进而求出重物质量。音叉式传感器耗电量小，计量准确度高达  $1/10000 \sim 1/200000$ ，称量范围为  $500\text{g} \sim 10\text{kg}$ 。

#### 陀螺仪式传感器

如图 10 所示，转子装在内框架中，以角速度  $\omega$  绕 X 轴稳定旋转。内框架经轴承与外框架联接，并可绕水平轴 Y 倾斜转动。外框架经万向联轴节与机座联接，并可绕垂直轴 Z 旋转。转子轴 (X 轴) 在未受外力作用时保持水平状态。转子轴的一端在受到外力  $(P/2)$  作用时，产生倾斜而绕垂直轴 Z 转动（进动）。进动角速度  $\omega$  与外力  $P/2$  成正比，通过检测频率的方法测出  $\omega$ ，即可求出外力大小，进而求出产生此外力的被测物的质量。

陀螺仪式传感器响应时间快(5 秒)，无滞后现象，温度特性好 (3ppm)，振动影响小，频率测量准确精度高，故可得到高的分辨率 ( $1/100000$ ) 和高的计量准确度 ( $1/30000 \sim 1/60000$ )。

#### 电阻应变式称重传感器

利用电阻应变片变形时其电阻也随之改变的原理工作 (图 11)。主要由弹性元件、电阻应变片、测量电路和传输电缆 4 部分组成。电阻应变片贴在弹性元件上，弹性元件受力变形时，其上的应变片随之变形，并导致电阻改变。测量电路测出应变片电阻的变化并转换为与外力大小成比例的电信号输出。电信号经处理后以数字形式显示出被测物的质量。

电阻应变式传感器的称量范围为几十克至数百吨，计量准确率达  $1/1000 \sim 1/10000$ ，结构较简单，可靠性较好。大部分电子衡器均使用此传感器。电阻应变式称重传感器原理

电阻应变式称重传感器是基于这样一个原理：弹性体（弹性元件，敏感梁）在外力作用下产生弹性变形，使粘贴在他表面的电阻应变片（转换元件）也随同产生变形，电阻应变片变形后，它的阻值将发生变化（增大或减小），再经相应的测量电路把这一电阻变化转换为

电信号（电压或电流），从而完成了将外力变换为电信号的过程。

由此可见，电阻应变片、弹性体和检测电路是电阻应变式称重传感器中不可缺少的几个主要部分。下面就这三方面简要论述。 称重传感器

### 一、电阻应变片

电阻应变片是把一根电阻丝机械的分布在一块有机材料制成的基底上，即成为一片应变片。他的一个重要参数是灵敏系数  $K$ 。我们来介绍一下它的意义。 设有一个金属电阻丝，其长度为  $L$ ，横截面是半径为  $r$  的圆形，其面积记作  $S$ ，其电阻率记作  $\rho$ ，这种材料的泊松系数是  $\mu$ 。当这根电阻丝未受外力作用时，它的电阻值为  $R$ ：

$$R = \rho L / S \quad (2-1)$$

当他的两端受  $F$  力作用时，将会伸长，也就是说产生变形。设其伸长  $\Delta L$ ，其横截面积则缩小，即它的截面圆半径减少  $\Delta r$ 。此外，还可用实验证明，此金属电阻丝在变形后，电阻率也会有所改变，记作  $\Delta \rho$ 。

对式 (2-1) 求全微分，即求出电阻丝伸长后，他的电阻值改变了多少。我们有：

$$\Delta R = \Delta \rho L / S + \Delta L \rho / S - \Delta S \rho L / S^2 \quad (2-2)$$

用式 (2-1) 去除式 (2-2) 得到

$$\Delta R / R = \Delta \rho / \rho + \Delta L / L - \Delta S / S \quad (2-3)$$

另外，我们知道导线的横截面积  $S = \pi r^2$ ，则  $\Delta S = 2\pi r \Delta r$ ，所以

$$\Delta S / S = 2\Delta r / r \quad (2-4)$$

从材料力学我们知道

$$\Delta r / r = -\mu \Delta L / L \quad (2-5)$$

其中，负号表示伸长时，半径方向是缩小的。 $\mu$  是表示材料横向效应泊松系数。把式 (2-4) (2-5) 代入 (2-3)，有

$$\begin{aligned} \Delta R / R &= \Delta \rho / \rho + \Delta L / L + 2\mu \Delta L / L \\ &= (1 + 2\mu (\Delta \rho / \rho) / (\Delta L / L)) * \Delta L / L \\ &= K * \Delta L / L \quad (2-6) \quad \text{其中} \end{aligned}$$

$$K = 1 + 2\mu + (\Delta \rho / \rho) / (\Delta L / L) \quad (2-7)$$

式 (2-6) 说明了电阻应变片的电阻变化率（电阻相对变化）和电阻丝伸长率（长度相对变化）之间的关系。

需要说明的是：灵敏度系数  $K$  值的大小是由制作金属电阻丝材料的性质决定的一个常数，它和应变片的形状、尺寸大小无关，不同的材料的  $K$  值一般在 1.7—3.6 之间；其次  $K$  值是一个无因次量，即它没有量纲。

在材料力学中  $\Delta L / L$  称作为应变，记作  $\epsilon$ ，用它来表示弹性往往显得太大，很不方便常常把它的百万分之一作为单位，记作  $\mu\epsilon$ 。这样，式 (2-6) 常写作：

$$\Delta R / R = K \epsilon \quad (2-8)$$

### 二、弹性体

弹性体是一个有特殊形状的结构件。它的功能有两个，首先是它承受称重传感器所受的外力，对外力产生反作用力，达到相对静平衡；其次，它要产生一个高品质的应变场（区），使粘贴在此区的电阻应变片比较理想的完成应变枣电信号的转换任务。

以托利多公司的 SB 系列称重传感器的弹性体为例，来介绍一下其中的应力分布。

设有一带有盲孔的长方体悬臂梁。

盲孔底部中心是承受纯剪应力，但其上、下部分将会出现拉伸和压缩应力。主应力方向一为拉伸，一为压缩，若把应变片贴在这里，则应变片上半部将受拉伸而阻值增加，而应变片的下半部将受压缩，阻值减少。下面列出盲孔底部中心点的应变表达式，而不再推导。

$$\epsilon = (3Q(1+\mu) / 2Eb) * (B(H2-h2) + bh2) / (B(H3-h3) + bh3) \quad (2-9)$$

其中：Q--截面上的剪力；E--扬氏模量； $\mu$ —泊松系数；B、b、H、h—为梁的几何尺寸。

需要说明的是，上面分析的应力状态均是“局部”情况，而应变片实际感受的是“平均”状态。

三、检测电路 检测电路的功能是把电阻应变片的电阻变化转变为电压输出。因为惠斯登电桥具有很多优点，如可以抑制温度变化的影响，可以抑制侧向力干扰，可以比较方便的解决称重传感器的补偿问题等，所以惠斯登电桥在称重传感器中得到了广泛的应用。

因为全桥式等臂电桥的灵敏度最高，各臂参数一致，各种干扰的影响容易相互抵销，所以称重传感器均采用全桥式等臂电桥。

电阻应变式称重传感器的工作过程 在测量过程中，重量加载到称重传感器的弹性体上会引起塑性变形。电阻应变式称重传感器的工作过程应变（正向和负向）通过安装在弹性体上的应变片转换为电子信号。最简单的弯曲梁称重传感器只有一个应变片。通常，弹性体和应变片通过多种方式来结合，例如，外壳，密封部件等来保护应变片。编辑本段称重传感器的选择：TR 系列

TR 系列（GEFRAN）称重传感器用于测量在机械引导滚筒上的上经常用来缠绕用的张力塑料膜或胶带的张力。它可以安装在机械底盘上的固定和传送轴上，它对末端轴所起到的作用是一个压力敏感元件和负载的功能。它可以用于固定和旋转两种轴上。TR 系列传感器可与固定的，4 M6 螺纹或中心螺纹是与 M10 或 M12 的适配法兰一起供货。

主要特征：

测量范围为从 100N 到 2KN

精度等级：0.5%

抗腐蚀

内部形成的校准信号

最小灵敏度轴线方向是从固定孔开始的35 度。

保护等级：IP65（DIN40050）

形成过载保护

TC 系列

TC 系列负载单元是张力测量传感器，它常用于静态测量和动态测量，压缩形式，具有较好的精度。它的机械部分是由一整块的金属部分组成，所以这个基本的测量元件和它的外壳部分没有焊接过程，从而使尺寸更小，并且加强了保护等级，这种点部测量的结构，具有 8 个张力测量，减少因负载的不完善的应用带来的误差。并联的称重元件的典型应用是：贮藏箱、加料斗、大的称重平台。不锈钢结构适合于石油化学和化学工业中攻击性环境的应用。

主要特征：

测量范围为从 100 到 20.000Kg

精度等级：0.2%

全部不锈钢结构

抗腐蚀

内部形成的校准信号

保护等级：IP67（DIN40050）

TU 系列

TU 系列负载单元是张力测量传感器，它常用于静态测量和动态测量，压缩形式，具有较好的精度。所有变送器的每个负载单元质块（Kg）经过校准。TU 系列准负载从 50Kg 到 1 吨的均可供货。这种型号具有 IP67 的保护等级，所以它可以用来使用到一些具有危险的化学工业中，它的机械部分是由一整块的金属部分组成，所以没有焊接过程。这意味着它可

以高度防止机械冲击和振动。这种致密的尺寸意味着这些单元可以使它放置在难于进入和空间较小的位置。 主要特征：

测量范围为从 50 到 1000Kg

精度等级：0.2%

全部不锈钢结构

抗腐蚀

保护等级：IP67（DIN40050）

压缩尺寸编辑本段称重传感器的仪表应用

称重仪表也叫称重显示控制仪表，是将称重传感器信号（或再通过重量变送器）转换为重量数字显示，并可对重量数据进行储存、统计、打印的电子设备，常用于工农业生产中的自动化配料，称重，以提高生产效率。

在工企业中应用的称重仪表性能指标通常用精确度（又称精度）、变差、敏锐度来形貌。仪表工校验仪表通常也是调校精确度，变差和敏锐度三项。

1.变差是指称重仪表被测变量（可明白为输入信号）多次从差异偏向到达同一数值时，仪表指示值之间的最大差值，大概说是仪表在外界条件稳固的环境下，被测参数由小到大变革（正向特性）和被测参数由大到小变革（反向特性）不划一的程度，两者之差即为仪表变差。可靠性 称重控制仪表可靠性是化工企业仪表工所寻求的另一紧张性能指标。可靠性和仪表维护量是相反相成的，仪表可靠性高阐明仪表维护量小，反之仪表可靠性差，仪表维护量就大。对付化工企业检测与进程控制仪表，大部门安置在工艺管道、种种塔、釜、罐、器上。

2.称重仪表在称重传感器中的稳固性 在划定事情条件内，称重仪表某些性能随时间连结稳固的本领称为稳固性（度）。仪表稳固性是化工企业仪表工非常体贴的一天性能指标。由于化工企业利用仪表的环境相比拟力恶劣，被测量的介质温度、压力变革也相比拟力大，在这种环境中投入仪表利用，仪表的某些部件随时间连结稳固的本领会低沉，仪表的稳固性会降落。徇或表征仪表稳固性现在尚未有定量值，化工企业通常用仪表零漂移来衡量仪表的稳固性。称重仪表稳固性的优劣直接关系到仪表的利用范畴，偶然直接影响化工生产，稳固性不好造成的影响每每双仪表精度降落对化工生产的影响还要大。稳固性不好仪表维护量也大，是仪表工最不盼望出现的事情。

3.称重仪表的 敏锐度偶然也称"放大比"，也是仪表静特性贴切线上各点的斜率。增长放大倍数可以提高仪表敏锐度，单纯加大敏锐度并不变化仪表的基天性能，即称重仪表精度并没有提高，相反偶尔会出现振荡征象，造成输出不稳固。仪表敏锐度应连结恰当的量。

对于大部分客户来讲，仪表精度虽然是一个紧张指标，但在实际利用中，每每更强调仪表的稳固性和可靠性，因为化工企业检测与进程控制仪表用于计量的为数不多，而大量的的是用于检测。别的，利用在进程控制体系中的检测仪表其稳固性、可靠性比精度更为紧张。

随着仪表更新换代，特别是微电子技能引入称重仪表制造行业，使仪表可告性大大提高。仪表生产厂商对这天性能指标也越来越珍视，通常用平均无妨碍时间 MTBF 来形貌仪表的可靠性。一台全智能称重变送器的 MTBF 比一样平常非智能仪表如电动III变送器要高 10 倍左右。称重仪表在使用前要与称重传感器配套进行数字标定。标定实际上就是用标准砝码对衡器进行校准。标定后的仪表内部保存有相对于这一组传感器的标定系数。有了这个系数后，仪表才可以把称重传感器的模拟信号转变为重量数字显示。

#### TJH-2A 平行梁传感器

传感器数量的选择是根据电子衡器的用途、秤体需要支撑的点数(支撑点数应根据秤体几何重心和实际重心重合的原则而确定)而定。一般来说秤体有几个支撑点就选用几只传感器。

传感器的量程选择可依据秤的最大称量值、选用传感器的个数、秤体自重、可产生的最大偏载及动载因素综合评价来决定。一般来讲，传感器的量程越接近分配到每个传感器的载荷，其称量的准确度就越高。但是在实际的使用当中，由于加在传感器上的载荷除被称物体外，还存在秤体自重、皮重、偏载及振动冲击等载荷，因此选用传感器时，要考虑诸多方面的因素，保证传感器的安全和寿命。下面给出一个经过大量实验验证的经验公式。

公式如下：

$$C=K0 \times K1 \times K2 \times K3 (W_{max} + W) / N$$

式中 C 一单个传感器的额定量程

W 一秤体自重

W<sub>max</sub> 一被称物体净重的最大值

N 一秤体所采用支撑点的数量

K0 一保险系数，一般取 1.2~1.3 之间

K1 一冲击系数

K2 一秤体的重心偏移系数

K3 一风压系数

#### 准确度等级选择

称重传感器的准确度等级包括传感器的非线性、蠕变、重复性、滞后、灵敏度等技术指标。在选用的时候不应该盲目追求高等级的传感器，应该考虑电子衡的准确度等级和成本。一般情况下，选用传感器的总精度为非线性、不重复性和滞后三项指标的之和的均方根值略高于秤的精度。

#### 应用范围及用途

称重传感器形式的选择主要取决于称重的类型和安装空间，保证安装合适，称重安全可靠；另一方面要考虑厂家的建议。对于传感器制造厂家来讲，它一般规定了传感器的受力情况、性能指标、安装形式、结构形式、弹性体的材质等。譬如铝合金悬臂梁传感器适合于电子计价秤、平台秤、案秤等；钢式悬臂梁传感器适用于电子皮带秤、分选秤等；钢质桥式传感器适用于轨道衡、汽车衡等；柱式传感器适用于汽车衡、动态轨道衡、大吨位料斗秤等。称重传感器主要应用在各种电子衡器、工业控制领域、在线控制、安全过载报警、材料试验机等领域。如电子汽车衡、电子台秤、电子叉车、动态轴重秤、电子吊钩秤、电子计价秤、电子钢材秤、电子轨道衡、料斗秤、配料秤、罐装秤等。

#### 使用环境

称重传感器实际上是一种将质量信号转换成可测量的电信号输出装置。用传感器首先要考虑传感器所处的实际工作环境，这点对于正确选用传感器至关重要，它关系到传感器能否正常工作以及它的安全和使用寿命，乃至整个衡器的可靠性和安全性。一般情况下，高温环境对传感器造成涂覆材料融化、焊点开化、弹性体内应力发生结构变化等问题；粉尘、潮湿对传感器造成短路的影响；在腐蚀性较高的环境下会造成传感器弹性体受损或产生短路现象；电磁场对传感器输出会产生干扰。相应环境因素下我们必须选择对应的称重传感器才能满足必要的称重要求。

#### 称重传感器的新技术

人们为了从外界获取信息，必须借助于感觉器官，而单靠人们自身的感觉器官，在研究自然现象和规律以及生产活动中它们的功能就远远不够了，为适应这种情况，就需要传感器，因此可以说，传感器是人类五官的延长，又称之为电五官。

新技术革命的到来，世界开始进入信息时代。在利用信息的过程中，首先要解决的就是要获取准确可靠的信息，而传感器是获取自然和生产领域中信息的主要途径与手段，在现代工业生产尤其是自动化生产过程中，要用各种称重传感器来监视和控制生产过程中的各个

参数，使设备工作在正常状态或最佳状态，并使产品达到最好的质量。因此可以说，没有众多的优良的传感器，现代化生产也就失去了基础。

在基础学科研究中，传感器更具有突出的地位，现代科学技术的发展，进入了许多新领域：例如在宏观上要观察上千光年的茫茫宇宙，微观上要观察小到  $\text{cm}$  的粒子世界，纵向上要观察长达数十万年的天体演化，短到  $\text{s}$  的瞬间反应，此外，还出现了对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种极端技术研究，如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等等。

显然，要获取大量人类感官无法直接获取的信息，没有相适应的称重传感器是不可能的，许多基础科学研究的障碍，首先就在于对象信息的获取存在困难，而一些新机理和高灵敏度的检测传感器的出现，往往会导致该领域内的突破，一些传感器的发展，往往是一些边缘学科开发的先驱。

称重传感器早已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、甚至文物保护等等极其之泛的领域，可以毫不夸张地说，从茫茫的太空，到浩瀚的海洋，以至各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。