

称重传感器原理及常见故障解决方法

梅特勒-托利多（常州）精密仪器有限公司 冯志辉

【摘要】 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，其工作原理是把加到秤盘上的物体重量转换成与该重量成比例的电信号，然后将输出的电信号放大和 A/D 转换后由相关电路显示出称重信息。其中电阻应变式称重传感器由于其结构简单，准确度高，适用面广，稳定性强，且能够在相对比较差的环境下使用，因此在衡器中得到了广泛地运用。本文就电阻应变式称重传感器的应用故障进行了一些探讨。

【关键词】 称重传感器；放大；电阻应变；衡器

Abstract: Load cell is a device to convert a quality signal into a measurable electrical signal, its working principle is to convert a quality signal into an electrical signal proportional to the weight, then the output signal is showed after amplification and A/D conversion circuit. The resistance strain type load cell has been widely used in the scale due to its simple structure, high accuracy, wide application range, strong stability, and can be in a relatively poor environment. We will discuss the resistance strain load cell application in this paper.

Key words: load cell; amplify; resistance strain; scale

1 引言

在现代工业生产尤其是自动化生产过程中，首先要解决的就是要获取准确可靠的信息，这就需要用各种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。随着技术的进步，由称重传感器制作的电子衡器已广泛地应用到各行各业，实现了对物料的快速、准确的称量，特别是随着微处理机的出现，工业生产过程自动化程度化的不断提高，称重传感器已成为过程控制中的一种必需的装置。电阻应变式称重传感器由于其制作工艺较为简单，加工成本较为低廉，故被企业大批量生产，在我国工业生产过程检测与控制、自动计量等领域已大量应用。

2 电阻应变式称重传感器的组件

电阻应变式称重传感器作为质量—重量转换元件，主要由三部分组成，即电阻应变片、弹性体和测量电路。

2.1 电阻应变片（传感元件）

电阻应变片也称电阻应变计，简称应变片或应变计，是由敏感栅等构成用于测量应变的元件。它能将机械构件上应变的变化转换为电阻变化。电阻应变片是由 $\delta=0.02-0.05\text{mm}$ 的康铜丝或镍铬丝绕成栅状（或用很薄的金属箔腐蚀成栅状）夹在两层绝缘薄片（基底）制成。用镀银铜线与应变片丝栅连接，作为电阻片引线。

电阻应变片的测量原理：金属丝的电阻值除了与材料的性质有关之外，还与金属丝的长度，横截面积有关。将金属丝粘贴在构件上，当构件受力变形时，金属丝的长度和横截面积也随着构件一起变化，进而发生电阻变化。

$$R/R_0 = K \cdot \epsilon \quad (1)$$

其中，K 为材料的灵敏系数，其物理意义是单位应变的电阻变化率，标志着该类丝材电阻应变片效应显著与否。 ϵ 为测点处应变，为无量纲的量，但习惯上仍给以单位微应变，常

用符号 μ 表示。由此可知，金属丝在产生应变效应时，应变与电阻变化率 dR/R 成线性关系，这就是利用金属应变片来测量构件应变的理论基础。

我们来介绍一下灵敏系数 K 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 ρ ，这种材料的泊松系数是 μ 。当这根电阻丝未受外力作用时，它的电阻值为 R ：

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

当它的两端受 F 力作用时，将会伸长，也就是说产生变形。设其伸长 ΔL ，其横截面积则缩小，即它的截面圆半径减少 Δr 。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) 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：

$$dR = \frac{\Delta \rho L}{S} + \rho \frac{\Delta L}{S} - \rho L \frac{\Delta S}{S^2} \quad (3)$$

用式 (3) 去除式 (2) 得到

$$dR/R = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta S}{S} \quad (4)$$

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 $\Delta S/S = 2 \Delta r/r$ (5)

$$\Delta r/r = -\mu \Delta L/L \quad (6)$$

其中，负号表示伸长时，半径方向是缩小的。 μ 是表示材料横向效应泊松系数。把式 (5) (6) 代入 (3)，有

$$\begin{aligned} \Delta R/R &= \Delta \rho/\rho + \Delta L/L + 2\mu \Delta L/L \\ &= [1 + 2\mu (\Delta r/r) / (\Delta L/L)] * \Delta L/L \\ &= K * \Delta L/L \end{aligned} \quad (7)$$

其中

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

式 (7) 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。

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 ϵ ，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 (1) 常写作：

$$R/R = K\mu\epsilon$$

2.2 弹性体 (敏感元件)

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到电信号的转换任务。用做称重传感器弹性体的金属材料，由于其内部复杂的组织结构关系，当受到外力作用后在微小晶粒之间会产生微应变，在外力消失以后，微应变随之消失，但是是否能够完全恢复到不受力的原始状态，则因弹性体的金属材料而异。如果加载力的曲线和卸载力的曲线不重合，差值越大，则迟滞性越大。其差值主要来源于材料本身成分的稳定性、均匀性、热处理后的径向组织等等。知道迟滞性产生的原因，我们可以通过选择合适的金属材料，采用先进的热处理方式提高弹性极限，来减小产生迟滞性从而取得很好的综合机械性能。

传感器弹性体设计时应遵守以下原则：

- (1) 弹性元件应变区受力单一，应力分布均匀；
- (2) 支承区尽量形成刚性固定，安装力远离应变区，必要时采取柔性隔离技术；
- (3) 加载、承载的压头、压垫设计，应使加载线与弹性元件中心线重合，保证加载点

稳定不变；

(4) 弹性元件的结构和外壳设计应尽量消除或减少力学干扰因素（横向力、弯矩、扭矩）的影响，把性能波动减至最小；

(5) 若结构条件允许，尽量采取过载保护措施，提高工作的安全可靠；

(6) 弹性元件应变区贴片处应开敞便于贴片作业，贴片表面尽量为平面并容易安装加压固化夹具；

(7) 弹性元件粘贴电阻应变计处便于防护密封作业，焊接膜片的钢度及焊接坡口设计合理，保证密封质量；

(8) 在结构设计的同时应考虑制造工艺，作到设计为可制造性服务；

(9) 在结构设计时还应考虑可靠性，即可靠性设计；

(10) 工艺设计应有利于大批量生产和工艺流程网络化的统计制程管理。

2.3 惠斯登电桥（测量电路）

测量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。

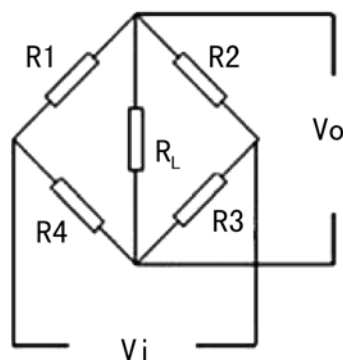


图 1 电阻应变片电桥原理图

称重传感器组桥电路中均有 R_L 电阻，阻值比较大，为了方便分析，在此忽略不计 R_L 作用，可以理解为阻值无穷大。

$$\begin{aligned}
 V_0 = V_B - V_D &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i - \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_i \\
 &= \frac{R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4 - R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} V_i \quad (8)
 \end{aligned}$$

若我们认为 $V_0=0$ 时，称之为电桥平衡，那么，电桥平衡的条件是 $R_2 \cdot R_4 - R_1 \cdot R_3 = 0$ ，即 $R_2 \cdot R_4 = R_1 \cdot R_3$ 。也就是说，只要电桥二对边阻值的乘积相等，那么，电桥就平衡了，它的输出等于零。

上面所说的是任意的惠斯顿电桥均有的特性。但称重传感器中采用的多为等臂电桥，即四个桥臂的初始阻值是相同的，即 $R_1=R_2=R_3=R_4$ ，也就是说，阻值若不发生变化， $V_0=0$ 。现在，我们让桥臂在原始阻值都相等的条件下，各有一个小的增量加减 R ，即是 $R_1 - R$ ， $R_2 + R$ ， $R_3 - R$ ， $R_4 + R$ 。

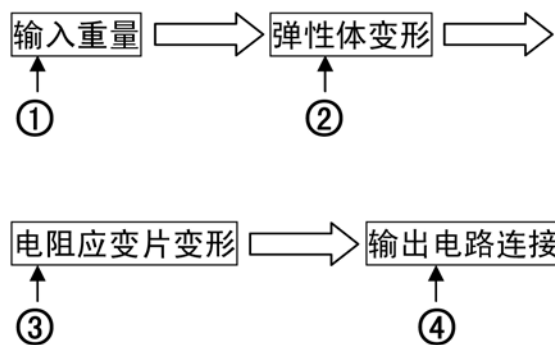
$$V_0 = \frac{(R + \Delta R)^2 - (R - \Delta R)^2}{4R^2} V_i = \frac{4\Delta R \cdot R}{4R^2} V_i = \frac{\Delta R}{R} V_i \quad (9)$$

这就是全惠斯顿电桥输出和输入（激励电压）的关系。 V_o 和 R 是线性关系。

3 称重传感器的故障排除实例

现在我们来探讨一下称重传感器在使用中出现的故障问题以及如何排除故障。使用中的电阻应变式传感器故障往往会导致称重系统漂移，显示不稳定或不显示数据等现象。下面主要介绍模拟传感器中一些常见的故障和故障排除方法和步骤。

引起传感器故障的原因很多，但归纳起来看其实分为内部和外部原因。内部原因主要是有传感器本身造成的故障，外部原因则是一些人为或自然因素损坏，比如传感器过载，冲击，或不小心跌落，大力拽传感器导线，雷击或大电流通过传感器，化学腐蚀，潮气侵蚀或高粉尘环境以及传感器内部的元器件的老化等。故障原因我们可以从传感器构成的几个主要部分来分析，可以按因果关系来进行一一分析。传感器组成分为三个部分，即弹性体和电阻应变片和输出的连接电路。如果从传感器出现的故障现象来看，其本质是输出故障。对此，我们要采用关联法来分析，即采用传感器自身的信号输出流程来分析。



为了解决问题的方便，我们可以参考 DSP 中处理信号的原理，将这四个步骤等效成 4 个模块，每个模块负责自己的功能，这些模块是以流水线形式来处理变换的。

按照关联法来看，输出故障有可能在最终输出前的每个模块中出现。其中在从模块 ① 到模块 ④ 过程中，包含着机械到电子的转换，在此胶水起着关键作用，起到了中介煤质作用。所以，我们就可以对这类故障进行模块逐步排除法。

模块 ① 的故障是很清楚明了的，可以清晰地看出重量的变换。

模块 ② 的故障主要体现在弹性体设计和材料等方面，可以采取测量传感器的重复性、非线性和滞后性等性能指标来验证。

模块 ③ 的故障主要体现在输入和输出电阻的阻值变化上面，在此可以采用测量输出输入电阻值的方法来判断。在检测时，应将传感器同接线盒和其它测试设备断开，依次测量传感器的输入端头和输出端阻抗值，对比测试值与产品的合格证的数值是否一致。

模块 ④ 的故障主要体现输出端没有电压或者电流出现，在此可以采取测量电缆端是否有输出信号来判断。

利用这 4 个解决问题的方向，我们就可以对一些故障现象进行总结。

故障一：称重载荷加到传感器上时，显示仪表上无重量显示

(1) 先检查模块 ① 功能是否正常，测量电桥电路的输入端和电压输出是否正常，若电压电路有故障，排除后再做进一步检查。

(2) 排除模块 ① 功能后，再检查模块 ② 与模块 ③ 之间的连接，检查电桥焊点是否有虚焊或者开焊现象，使电桥不工作。

(3) 如果排除模块 ② 与模块 ③ 之间连接故障，接着查模块 ③，检查传感器中是否有异物，电阻应变片是否发生应变，电阻是否变化。

(4) 模块 出现问题, 应变片变形不符合要求。

故障二: 称重传感器未加载荷时, 显示值出现零飘、不回零、跳变

(1) 模块 电桥某一桥臂有虚焊现象, 或某个焊点有“碰地”现象。

(2) 模块 粘贴电阻应变片处开胶。

(3) 模块 与模块 连接处, 电桥与弹性底之间绝缘电阻值下降。

(4) 模块 出现问题, 应变片变形不符合要求。

故障三: 称重显示值不准确

(1) 模块 出现问题, 弹性体变形有问题, 可能弹性体被摔、碰撞、造成局部断裂, 或者弹性体疲劳过度, 使弹性体失去应有的应力变化因而读数不准。

(2) 模块 出现问题, 由于某种原因造成供桥电压升高或者电阻应变片过热, 使应变片粘胶损坏, 阻值改变。

(3) 模块 出现问题, 可能在高温或温度变化大的环境中使用, 输出电路元器件不稳定或者损坏。

故障四: 载荷加到弹性体上时, 显示值各不相同

(1) 模块 出现问题, 弹性体本身变化不稳定。

(2) 模块 出现问题, 电阻应变片本身的特性不好。

(3) 模块 与模块 连接部分出问题, 粘贴剂变质使应变片粘贴不牢。

(4) 模块 组桥电路出现问题, 其元器件性能不稳定或者外界影响了电路板的输出。

故障五: 载荷加到弹性体上时, 显示值随时间变化, 载荷越大变化越大。

(1) 模块 出现问题, 弹性体本身变化不稳定。

(2) 模块 与模块 之间出现问题, 粘贴胶选用不当或老化变质或者环境潮湿、粘贴层过厚或固化不良。

总之, 在发现故障时, 可以逐个模块进行分析, 找出最有可能出现问题的模块, 这样就能快速而准确的排除故障。

4 结束语

总之, 以称重传感器为核心的电子衡器在实际的使用过程中引发故障的原因很多, 有时几个故障可能同时出现。最好是在传感器工作原理的基础上制作传感器检查表, 以提高分析的针对性和分析效率, 从而快速而又准确的发现故障。在检查称重传感器故障时, 首先要对称重传感器的外观进行检查, 然后根据检查表对其进行逐步的分析和测试, 相信故障就会很快排除。

参考文献:

1. 张耀华; 平衡梁有限元分析及结化[D]; 河北工业大学; 2000年[2]
2. 刘九卿. 应变式称重传感器技术动向和发展趋势[C]. 第五届全国称重技术研讨会论文集, 2005.
3. Armstrong Cecil Modeling requirements for finite element analysis [J]. Computer-aided design, 1994.
4. 曼弗雷德·柯希克, 邹炳易, 施昌彦译. 称重手册[M]. 中国计量出版社, 1992. 邮政编码: 030006
5. 叶家梁 《衡器》1998 第 6 期 维普资讯网
6. 王美胜; 称重传感器的选用[J]; 仪器仪表标准化与计量; 2003 年 01 期

作者简介:

冯志辉 (1976-), 男, 梅特勒-托利多研发工程师, 从事称重传感器产品开发。