

一种新型数字称重传感器的补偿技术

宁波柯力传感科技股份有限公司 林德法，赵宁，蓝晓荣

【摘要】 传感器已进入数字时代，数字称重传感器高速发展，各种新技术应用层出不穷。宁波柯力传感科技股份有限公司通过大量实验，获取不同量程、不同结构模拟传感器的零点和弹性模量随温度变化的数据，建立数学补偿模型，通过软件补偿系数对输出数值进行连续补偿修正，对原有传感器的零点温度、灵敏度温度模拟补偿原理创新变革，本文所描述的新型数字称重传感器采用软件补偿算法，取消零点温度补偿电阻和灵敏度温度补偿片，用零点温度补偿、灵敏度温度补偿算法替代，可极大的简化模拟部分的设计。

【关键词】 重传感器；零点温度补偿；灵敏度温度补偿，补偿系数

一、数字称重传感器概述与发展

实际上仅数字传感器也经历了几代发展：

数字一代主要是把模拟传感器加上 AD 模块组成数字传感器，有些是把 AD 模块放在数字接线盒上，有些则把 AD 模块加装在弹性体旁边，再增加通讯电路便组成了最简单的数字传感器。

数字二代则在一代的基础上增加线性及零点修正功能，传感器出厂时零点已修正。

数字三代则简化了模拟传感器，取消了原模拟传感器所具有的零点温度补偿电阻、灵敏度补偿电阻、灵敏度温度补偿片等补偿元件，采用软件算法进行计算。

数字传感器的演变使得模拟传感器的设计和工艺也产生了变化，模拟传感器及数字传感器的对比电路原理图，如图 1 所示，共计 6 大补偿。

$R_1 \sim R_4$ ：桥路应变计电阻；

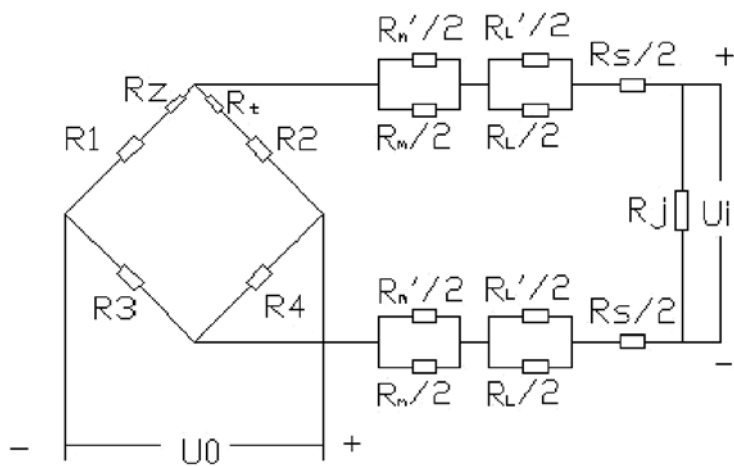


图 1

- R_Z : 零点补偿电阻 ;
- R_t : 零点温度补偿电阻 ;
- R_M : 灵敏度温度 (弹性模量) 补偿电阻 ;
- R_L : 线性补偿电阻 ;
- R_S : 灵敏度补偿电阻 ;
- R_J : 输入电阻调整电阻 ;

图 1 是经典模拟传感器电原理图, 具有十多个补偿器件。

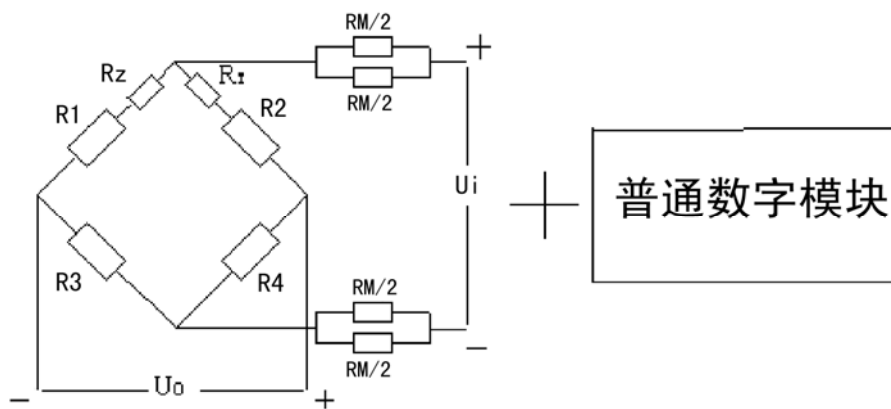


图 2

图 2 是一个完整的模拟传感器与数字模块组成的数字传感器, 包括第一和第二代, 区别是模块的软件功能第二代更强。

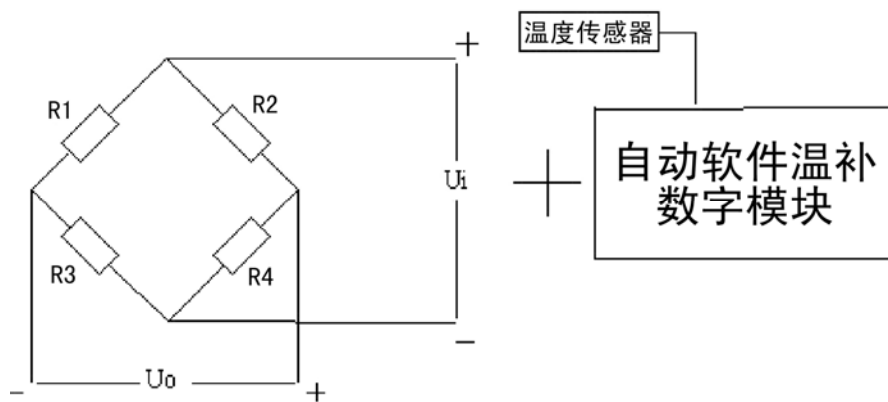


图 3

图 3 是具有纯软件补偿的数字传感器, 它取消了模拟传感器的各种补偿, 而以一个温度传感器取代, 加自动软件补偿技术实现。图 3 就是本文所说的第三代数字传感器, 很多工程师把它称之为真正的数字传感器, 它实现了: (1) 零点平衡调整; (2) 零点温度漂移补偿; (3) 传感器灵敏度补偿; (4) 灵敏度温度补偿; (5) 输出一致性调整; (6) 补偿电阻非线性补偿, 等六大补偿。要实现

图 3 所述纯软件补偿的数字传感器（为叙述方便以下简称软件补偿传感器）至少要在四方面进行突破，分别是温度传感器及采集、零点温度补偿算法、灵敏度温度补偿算法、新型传感器制作工艺。

二、4 个方面突破

1、温度传感器及采集

（1）必须要有一个能准确并快速测量弹性体的温度传感器，可考虑 SOT23 封装或 SOIC8 封装的温度传感器，这种封装的好处是体积较小，可方便放入工艺孔。

（2）温度传感器精度要高，故一般的热敏电阻是无法满足要求的，这里建议选择欧美大厂的温度传感器。

（3）温度传感器测量范围必须足够宽，由于传感器一般要工作在 $-40 \sim 70$ ，故温度传感器测温范围必须达到 $-50 \sim 120$ 。

（4）所选的温度传感器需长期可靠工作，这一点尤其重要。

2、零点温度补偿算法

依据采集的温度通过计算补偿模拟传感器的零点漂移，这里需要注意的是 ADC 芯片自身的温度漂移要很小，小到对整个传感器而言可以忽略不计，经测试和计算，ADC 芯片的漂移应小于 1PPM，零点温度补偿可采用分段和曲线拟合方式，为减少计算量可采用分段方式，这样后续可根据模拟传感器特性进行调整，对工艺改进留足余量。在设计时可附带增加一些检测功能作为模拟传感器特性判别使用。

3、灵敏度温度补偿算法

这是软件补偿传感器的核心，平时所说的 2mv/V 灵敏度指的是满量程的灵敏度，实际使用时灵敏度与当前温度和当前重量两者都有关系，故需采用平面补偿方式（不是直线补偿），即二维补偿，为准确补偿灵敏度至少需 10 个系数，而这 10 个系数的获得需做大量统计，我们对 10000 多个模拟传感器进行了大量的实验整理出了 10 个系数相互之间变化的规律，以此建立数学模型。

（1）传感器制作工艺

随着算法的变化，常规的传感器制作已不能满足要求，因此我们对工艺做了重大改革，如零点温度补偿，原先需人工手动操作，靠经验实施，甚至多次重复调整，改进后零点温度补偿全部由上位机软件完成，完全不需人工干预，提高了效率同时产品一致性也得到大幅提升，产品合格判定也完全由上位机执行，零点温度补偿如下：

1) 单调性

$$AD_{Z0} \quad AD_{Z1} \quad AD_{Z2} \quad AD_{Z3} \quad (1)$$

$$AD_{Z0} \quad AD_{Z1} \quad AD_{Z2} \quad AD_{Z3} \quad (2)$$

满足（1）或（2）则表明是单调的，不满足则表明是非单调的。

如果是单调的则 $(AD_{Z(i+1)} - AD_{Zi}) / (T_{Z(i+1)} - T_{Zi}) \leq 50 \text{AD 码/}$ 应是合格的，因为软件可以补偿过来。

如果是非单调的则 $(AD_{Z(i+1)}-AD_{Zi}) / (T_{Z(i+1)}-T_{Zi}) \leq 2.36AD \text{ 码} / (17\text{ppm} /)$ 才是合格的。

注： AD_{ZX} 指采样的 AD 码值， T_{Zi} 指测试点温度值

2) 补偿后误差值判别

补偿不能做到误差为 0，补偿后传感器的误差值自动传输给上位机，上位机根据传感器的误差等级范围，自动判定补偿是否符合标准。

3) 零点 AD 码范围

由于模拟传感器取消了零点补偿，所以零点偏移会比较大，虽然大零点不影响后续计算，但如果 AD 转换后偏移太大则也可能是传感器有损坏，所以有必要进行判断，判定值的设定与 AD 转换电路有关。

4) 传感器测量温度与高低温箱温度差异

温度偏差控制在 ± 5 范围内，如果超出则可能温度传感器芯片工艺有问题，或高低温箱温度有异常，此时需人工干预调整工艺或温度偏差。

(2) 弹性模量系数输入（生产质量控制需求）

生产记录表中有 6 个质量控制点：

第一个“√”或者“A”表示单调性；

第二个“√”或者“B”表示补偿差值是否符合要求；

第三个“√”或者“C”表示 AD 码是否符合要求；

第四个“√”或者“D”表示温度是否符合要求；

第五个“√”或者“E”表示差值偏差是否符合要求；

第六个“√”或者“F”表示弹模系数是否写入。

三、结论

采用自动软件温度补偿方式设计的数字传感器经测试，零点温度漂移可控制在 $0.008\%F.S/10$ 范围内，灵敏度温度漂移可控制在 $0.005\%F.S/10$ 范围内，经大量装秤实验证明，这种温度补偿方式的数字传感器精度优于一般的数字传感器。且采用这种补偿方法和工艺后可节约模拟传感器补偿用的贵金属的使用，保护矿产资源利于环境保护。

参考文献

1. 陈日兴. 从“衡器”观念的变化看衡器技术进步 [C]. 第九届称重技术研讨会论文集. 中国衡器协会. 2010 年。

2. 尹福炎. 电阻应变式测力与称重传感器技术回顾——纪念电阻应变式测力与称重传感器诞生 70 周年 [C]. 第九届称重技术研讨会论文集. 中国衡器协会. 2010 年。