

文章编号: 1001-2486 (2000) 03-0006-05

电子分析天平温漂与时漂的自动补偿*

滕召胜, 郁文贤, 夏胜平

(国防科技大学 ATR 国家重点实验室, 湖南 长沙 410073)

摘要: 温漂和时漂是电子分析天平产生误差的主要原因, 其自动补偿具有重要意义。本文介绍了电子分析天平的工作原理, 分析了电子分析天平温漂、时漂的产生机理, 提出了一系列克服漂移的自动补偿方法, 给出了传感器、硬件电路和软件等几方面的自动补偿方案, 实际应用表明这些补偿方法是切实可行的。

关键词: 电子分析天平; 温漂; 时漂; 自动补偿; 电磁力平衡传感器

中图分类号: TH82 **文献标识码:** B

Auto-compensation of Temperature Drifts and Time-varying Drifts of Electronic Analytical Balance

TENG Zhao-sheng, YU Wen-xian, XIA Sheng-ping

(ATR State Key Lab, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Temperature drifts and time varying drifts are primary factors of error of electronic analytical balance. It is important to compensate for the drifts. This paper introduces the working principle of electronic analytical balance, analyses the mechanism of the temperature drifts and time-varying drifts, presents a series of measures to compensate automatically for the drifts, and gives the auto-compensation methods of sensor, hardware and software. Practical application shows that the auto-compensation methods are feasible.

Key words: electronic analytical balance; temperature drifts; time-varying drifts; self-compensation; electromagnetic force balance sensor

电子分析天平是一种智能化质量计量仪器, 是广泛应用于国防、科研、工厂、实验室的质量计量标准器具, 具有称量快速、操作简单、自动校准、故障自诊断等多种机械天平所无法具备的功能与优越性。由于计量精密, 灵敏度高, 温漂与时漂成为影响电子分析天平计量性能的主要因素。以作者研制的 TMP-200 电子分析天平为例, 其称量范围 0~200g, 感量为 0.0001g, 允许称量误差为 0.0002g。对于如此精密的计量仪器, 传感器和电路在工作过程中的温度影响, 仪器随工作时间而产生的某些参数的变化, 以及气流、振动、电磁干扰等环境因素的影响, 都会使电子分析天平产生漂移。其中, 气流、振动、电磁干扰等环境因素的影响可以通过对电子分析天平的使用条件加以约束, 将影响程度减少到最低限度。而温漂和时漂主要是来自天平内部的自身影响和环境温度的影响, 其形成的原因复杂, 产生的漂移大, 必须加以抑制。

本文在介绍电子分析天平工作原理的基础上, 分析温漂、时漂产生的原因, 从传感器、电路、软件等几方面给出抑制漂移的行之有效的办法。

1 电子分析天平的工作原理

电子分析天平的原理结构框图如图 1 所示。图中虚线方框内为天平的电磁力平衡传感器。

称盘加载前, 拉簧的拉力与称盘、立柱、可动线圈(简称动圈)、遮光片等可动部分的重力相当, 电磁力平衡传感器处于初始平衡状态, 发光二极管 D_1 的发光被遮光片完全挡住, 光敏电池 D_2 的输出电压为 0。

称盘加载后, 被称量物体的质量 m 使电磁力平衡传感器的可动部分发生位移。遮光片位移后使

* 收稿日期: 1999-06-14

作者简介: 滕召胜(1963), 男, 博士后。

光敏电池 D_2 产生电压输出信号, 该电压信号经 PID 调节放大, 变成与被称量质量 m 成正比的电流 I 并流经动圈。载流动圈在永磁体的磁场作用下, 将产生向上的力 F , 使电磁力平衡传感器的可动部分向上移动。遮光片向上移动后, 光敏电池的电压输出信号减少, PID 积分环节使流经动圈的电流 I 继续增大, 直至可动部分回到初始平衡的位置, 光敏电池 D_2 的输出电压为 0。此时, 动圈电流 I 在永磁体磁场作用下产生的力 F 与被称量物体的重力相当, 传感器处于平衡状态。于是有

$$F = BLI = mg \quad (1)$$

式中, B 为永磁体气隙中的磁感应强度; L 为动圈的导线长度; g 为重力加速度。

由式 (1) 有

$$m = \frac{1}{g}BLI \quad (2)$$

式 (2) 为电子分析天平质量计量的基本数学模型。

拉簧 永磁体 称盘 立柱 动圈 热敏元件

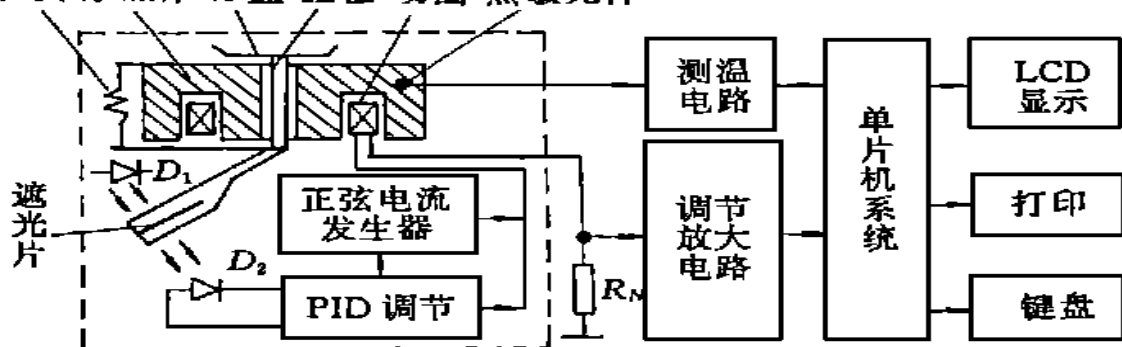


图1 电子分析天平原理框图

Fig 1 Composition of electronic analytical balance

图1中, R_N 是电磁力平衡传感器输出的取样电阻, 动圈电流流经 R_N 产生的取样电压信号经调节放大, 成为与 m 成正比的 0~5V 直流电压信号送单片机系统的 A/D 转换口, 由单片机进行数据处理后, 送显示、打印, 输出测量结果。

图1中的正弦电流发生器、热敏元件、测温电路等都是为补偿温度影响而采取的硬件方法, 本文的后续部分将专门讨论。

2 温漂与时漂的产生机理

电子分析天平的温漂是温度变化对电子分析天平计量性能影响的外部表现, 时漂是电子分析天平长时间工作的不稳定性的外部表现。

产生温漂的主要原因是电子分析天平内过流元件的发热和天平工作环境温度的变化, 产生时漂的主要原因是电子分析天平的永磁体磁感应强度和传感器力敏元件的内部应力随时间的变化、元器件某些参数随时间的变化以及重力加速度随地域的变化, 温漂和时漂从表象上来看, 都是天平加载不变, 而测量输出缓慢变化。因此, 温漂和时漂从表象上是难以区分的, 但它们形成的机理各有不同。

2.1 温漂的产生机理

环境温度变化、动圈载流发热、电路元件的发热等, 都将引起永磁气隙中的磁感应强度 B 、动圈导线长度 L 、动圈导线电阻 R_L 和线绕取样电阻 R_N 的变化, 从而引起传感器输出和电子分析天平测量结果的变化。设上述参数随温度 t 变化引起的电子分析天平的误差分别为 Δm_B 、 Δm_L 、 Δm_{R_L} 、 Δm_{R_N} , 则温度 t 变化引起的电子分析天平的测量结果变化 Δm 为^[1]

$$\begin{aligned} \Delta m &= \Delta m_B + \Delta m_L + \Delta m_{R_L} + \Delta m_{R_N} \\ &= \frac{1}{g} \left[BLI(\rho_B + \rho_L)\Delta t + \frac{BLV}{R_L + R_N + R_L \rho_L \Delta t + R_N \rho_N \Delta L} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

式中, ρ_B 、 ρ_L 、 ρ_N 、分别为磁感应强度 B 的温度系数、动圈导线长度 L 的线膨胀系数和线绕取样电阻 R_N 的温度系数。 V 为 PID 调节的输出电压。

2.2 时漂的产生机理

时漂来自永磁体、弹性材料、机械零部件、电子元器件和重力加速度。

2.2.1 永磁体的自然退磁

电磁力平衡传感器中, 永磁体的磁感应强度 B 是随时间变化的, 存在自然退磁现象。未经老化处理的永磁体, 其磁感应强度每年大约降低 0.5%。永磁体磁感应强度随时间变化是电子分析天平产生时漂的主要原因。

2.2.2 弹性材料与其它机械零部件的蠕变

对电磁力平衡传感器中的拉簧和恒弹性片, 理论上要求它们的弹性是线性和恒定的, 但实际上, 弹性材料内应力是随时间变化的, 即存在蠕变现象。电磁力平衡传感器中所有的机械称重零部件都存在随着使用时间延续而产生的变形、热伸冷缩、内应力蠕变等问题。这些变化对电磁力平衡传感器输出的影响经后续电路放大后, 都表现为电子分析天平的时漂。

2.2.3 电子元器件的漂移

电子元器件存在噪声与漂移, 由此带来的时漂具有随机性。对于高精度电子分析天平, 这种随机漂移不可忽视。

2.2.4 重力加速度的变化

当电子分析天平的使用地域发生变更时, 因地域区别而引起的重力加速度 g 的变化, 也会导致天平测量结果的变化。其变化量 Δmg 为

$$\Delta mg = \frac{1}{g(g + \Delta g)} \Delta g BLI \quad (4)$$

式中, Δg 为重力加速度的变化量。

3 温漂与时漂的补偿方法

温漂与时漂的自动补偿是决定电子分析天平计量性能的至关重要的设计内容。温漂补偿主要包括动圈的温度补偿、永磁体的温度补偿、取样电阻的温度补偿以及环境温度影响的自动补偿。时漂补偿主要包括永磁体、恒弹性材料、机械零部件、电子元器件的老化处理, 以及重力加速度的自动校准等。

3.1 动圈的温度补偿

欲使动圈受温度影响减小, 主要可从两方面采取措施: 一是保持动圈电阻不随温度变化; 二是保持动圈温度基本不变, 从而保持动圈导线的长度为恒定值。

3.1.1 动圈电阻的温度补偿方法

为避免温度变化对动圈电阻的影响, 可将动圈采用两种线径相等、温度系数绝对值相等的正、负温度系数导线串联绕制, 利用二者随温度变化伸缩相反的原理抑制动圈电阻的温度影响。

3.1.2 动圈温度的恒定

天平的加载越大, 动圈的载流越大, 发热量越大。另一方面, 环境温度也直接影响动圈。图 1 中的正弦电流发生器, 就是为消除动圈载流发热以及环境温度影响而采取的温度自动补偿方法。

图 2 为动圈温度补偿电路。

图 2 中, R_1 是与动圈串联的电阻, 同热敏电阻 R_{t1} 集成密封在一个金属腔内。热敏电阻 R_{t2} 用于感知环境温度的变化。当天平加载, 电流 I 增加时, R_1 的发热量增加, 金属腔内温度升高, 使 R_{t1} 产生相应的变化, 此时控制电路控制正弦电流发生器的输出幅值相应降低, 流经动圈的交变电流减小, 交流引起的动圈发热量降低。环境温度变化时, 热敏电阻 R_{t2} 将环境温度变化量送控制电路, 控制正弦电流发生器的输出。环境温度升高, 正弦电流减小, 动圈的过流发热量相应降低。

通过热敏电阻 R_{t1} 、 R_{t2} 控制正弦电流发生器的输出, 可以在很大程度上抑制动圈载流变化和环

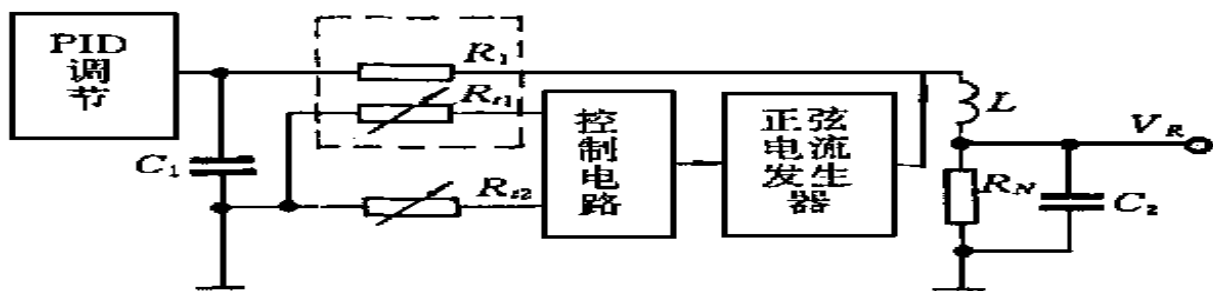


图2 动圈温度补偿电路

Fig. 2 Temperature compensation of moving coil

温度变化对动圈温度的影响, 使动圈温度基本不变。

由于电容 C_2 的旁路作用, 温度补偿用的正弦电流并不流经取样电阻 R_N , 因此对电磁力平衡传感器的称量输出 V_{RN} 不造成影响。

3.1.3 动圈交流阻抗的恒定

正弦电流流经动圈, 电流沿动圈导线横截面的分布将产生集肤效应, 动圈交流阻抗 Z_L 的大小与集肤效应的强弱有关, 可近似表示为^[3]

$$Z_L = \frac{4 \mu_0 f}{2 J_t \rho_0 (1 + \alpha)} \quad (5)$$

温度 t 增加时, 集肤效应所对应的交流阻抗增加, 集肤效应随之降低。电流密度分布趋向均匀, 交流阻抗减小。适当选取动圈导线的线径、电感、电阻和正弦电流的频率, 能够使动圈的交流阻抗在一定的温度范围内基本不变。

3.2 取样电阻的温度补偿

取样电阻 R_N 的少许变化, 将引起传感器输出电压的变化, 这一变化经后续电路放大后, 将成为电子分析天平较大的测量误差与漂移。为避免温度变化对取样电阻 R_N 的影响, 可将线绕取样电阻采用两种线径相等、温度系数绝对值相等的正、负温度系数电阻丝串联绕制, 二种电阻丝随温度变化引起的阻值变化相反, 可以保证总电阻即取样电阻不受温度影响。若二种电阻丝的温度系数分别为 α 、 $-\alpha$, 则取样电阻 R_N 在不同温度 t 时的电阻值 $R_N(t)$ 为

$$\begin{aligned} R_N(t) &= (1 + \alpha \Delta t) \frac{R_N(0)}{2} + (1 - \alpha \Delta t) \frac{R_N(0)}{2} \\ &= R_N(0) \end{aligned} \quad (6)$$

式中, Δt 为温度变化量; $R_N(0)$ 为 25°C 时取样电阻的阻值。

取样电阻温度补偿的关键是选取正、负温度系数的电阻丝, 绕制时还应保证正、负温度系数电阻丝绕制的电阻各为 $\frac{R_N(0)}{2}$ 。

3.3 永磁体的温度补偿

环境温度的变化会引起永磁体磁感应强度 B 的变化, 图 1 中的热敏元件和测温电路就是为抑制环境温度对永磁体磁感应强度影响而采取的补偿方法。永磁体的温度变化曲线存储于单片机中, 置于永磁体内的半导体热敏元件将永磁体的温度测量信息经测温电路放大处理后, 送单片机系统, 通过软件修正因温度变化导致永磁体磁感应强度变化而造成的测量误差。

3.4 永磁体、恒弹性材料及元器件的老化处理

永磁体、拉簧、恒弹性片、机械称重零部件、电子元器件等在使用前, 都必须进行老化处理。金属材料可通过热处理, 消除时漂影响; 电子元器件可通过高低温处理稳定其工作性能。永磁体经老化处理后, 磁感应强度的年漂移可控制在 1ppm/年 的变化范围, 甚至更小。

3.5 重力加速度的自校准

由式(2)可见,电子分析天平的质量称量结果与重力加速度有关。人们常用的重力加速度实际是标准重力加速度,它是在北纬 45° 海平面处的重力加速度的惯用值。事实上,重力加速度并非常量,它随着纬度、海拔高度等因素的变化而变化^[2]。因此,电子分析天平摆放位置不同,重力加速度 g 值不尽相同。

以TMP-200电子分析天平称量100g的标准砝码为例,若 $g = 9.8000$ 时天平称量值为100.0000g,当 g 变化 $\frac{1}{1000}$,即 $g = 9.8098$ 时,天平的输出为

$$m = \frac{1}{g}BLI = \frac{1}{9.8098}BLI = 99.9001g \quad (7)$$

产生的称量误差达0.0999g,远远超出了0.0002g的误差要求。

为排除重力加速度 g 对电子分析天平称量准确性的影响,可在天平内设置一个标准砝码,或用高精度标准砝码作为天平的校准砝码附件,通过对标准砝码的称量,自动校准 g ,并将 g 值存储于单片机系统的存储单元中,用以修正重力加速度 g 的影响^[2]。

4 结束语

温漂与时漂是制约电子分析天平稳定性与准确性的重要原因,克服漂移影响是电子分析天平设计调试极其关键的环节。本文系统地分析了电子分析天平产生温漂与时漂的原因,提出了较完善的漂移自动补偿方法。依据本文提出的补偿方法,作者成功地抑制了TMP-200电子分析天平的温漂与时漂,取得了满意的结果。国家计量部门的实验表明,经补偿的TMP-200电子分析天平在10~30℃温度范围内连续24h工作,其输出漂移低于0.0004g,具有很高的稳定性。

参考文献:

- [1] 滕召胜,童调生,李福彬.电磁力平衡传感器的温度影响及其补偿[J].传感器技术,1998,17(2):28~30.
- [2] 滕召胜.重力加速度对电子分析天平的影响及其补偿研究[J].计量学报,2000.
- [3] 方秋华,茅佩,田新启.电涡流传感器温度漂移的自动补偿[J].仪器仪表学报,1997,18(2):198~201.