

影响电子天平测量准确性的因素分析

马学燕, 赵 荣

(天津市东丽区计量检定所, 天津 300300)

摘要: 本文从电子天平的工作原理出发, 从理论上分析了影响电子天平称量准确性的两个主要因素: 重力加速度的影响和温度变化的影响, 并提出了有效地消除这些误差的方法。

关键词: 电子天平; 电磁力平衡式传感器; 重力加速度; 温度

中图分类号: TH715 文献标志码: B

随着现代电子技术的迅速发展, 电子天平已广泛用于科学技术、工业生产、医药卫生、计量等领域。电子天平采用了现代传感器技术、电子技术和微型计算机技术, 具有操作简便、称量速度快、自动化程度高、智能化功能强等机械天平无可比拟的优越性。但是, 如果不能正确使用, 会产生较大的测量误差, 本文从电子天平的工作原理出发, 分析产生测量误差的两个主要来源及其消除方法。

1 电子天平的工作原理

高精度电子天平通常采用电磁力平衡式传感器, 电磁感应式电子天平与电子秤不同, 电子秤是使用电阻应变式传感器作为感应输出的, 电磁感应式电子天平是利用电磁力平衡的原理进行设计的, 根据电磁力公式:

$$F = BLI \sin\theta \quad (1)$$

式中, F 为电磁力; B 为磁感应强度; L 为受力导线的长度; I 为流过导线的电流强度; θ 为通电导体与磁场的夹角。

由上式可知, F 的大小与 B 、 L 、 I 及 $\sin\theta$ 均成正比。由于设计好的传感器, 其感应线圈的规格尺寸已固定, 所以其 B 、 L 均不再改变。而 θ 为 90° , 故 $\sin\theta = 1$ 。因此, F 的大小与 I 成对应关系。

电子天平主要组成部分有: 电源、电磁力平衡式传感器、光电传感器、键盘和显示器、控制电路。电子天平的基本工作原理是: 天平空载时, 电磁力平衡式传感器处于平衡状态。加载后, 感应线圈的位置发生改变, 光电传感器中的光敏三极管所接收的光线强度改变, 其输出电流也改变, 该变化量经微处理器处理后, 控制电磁线圈的电流大小, 使电磁力平衡式传感器重新处于平衡状态, 同时, 微处理器将电磁线圈的电流变化量转变为数字信号, 迅速在显示屏上显示出来。

2 重力加速度的影响

电子天平主要采用电磁力平衡式传感器实现被

测质量向重力再向电流信号的转换, 其测量结果与重力加速度密切相关。而重力加速度的大小与天平使用地点的纬度、海拔高度、地壳密度、地下水变化等诸多因素有关, 是随地而变的。因此, 电子天平必须根据天平的使用地点实施重力加速度补偿。

例如: 我们在一楼用 200.0000g 的砝码对电子天平进行校准, 称量结果为 200.0000 。搬到四楼 (约 10m 高) 后对同一砝码进行称量, 结果为 199.9994 。可见重力加速度随使用地方不同, 电子分析天平必须具有随地、随时进行自校准与自补偿的功能。式 (1) 中, 永磁体的磁感应强度 B 和动圈有效长度 L 是固定的, 传感器输出电流 I 通过放大电路和 A/D 转换后, 可以准确测得。如果被测质量 m 已知, 且准确度高于电子天平的准确度, 则可通过对已知标准质量 m 的称量, 依据式 (1) 获得当地当时的准确 g 值。该标准质量即校正砝码的质量。

1) 内置校准砝码补偿方法及其不足:

目前的电子天平普遍采用内置校准砝码的补偿方法, 即在电子天平内部设置一个校准砝码, 通过对校准砝码的称量得出当地的 g 值。这种补偿方法需要增加电子分析天平的机械加载机构和自校专用砝码, 因此提高了产品成本和工艺复杂性。而且, 内置砝码在长期使用后, 难以进行砝码检定和表面清洁处理, 易于造成电子分析天平的时漂误差。

2) 外附校准砝码补偿方法:

将校准砝码改为通用标准砝码, 作为电子分析天平的附件, 直接通过称盘加载称量, 可进行重力加速度的自动校准, 实现重力加速度对天平称量影响的自动补偿。由于外附校准砝码的准确度能够得到保证, 重力加速度的补偿精度高, 已获得广泛应用。

3 温度变化的影响

电磁力平衡式传感器的温度变化主要来源于环

境温度的变化和过流元件的发热。电子天平的基本工作原理是平衡,一旦失衡,利用电磁力将天平重新拉回平衡。这个电磁力,是由流经线圈中与物体质量成正比的电流在永久磁钢中产生的。根据式(1),电磁力 F 的大小与磁钢的磁通 B 、流经线圈中的电流 I 及线圈长度 L 成正比。当天平处于预热阶段时,随着内部温度升高,磁通 B 会逐渐下降,同时 I 也会减小,这样就导致 F 变小,天平失去平衡,示值会呈现正的单方向漂移。

电子天平在称量前要充分预热。只有经过充分预热,使磁钢达到热平衡,这一变化过程结束,天平才达到平衡。再利用置零/去皮功能,使显示置零,此时天平才处于真正可使用状态。为了减少电子器件,例如变压器、桥式整流器、三端直流稳压集成电路等发热器件的影响,新一代的电子天平已将主要发热器件一变压器移到天平的外部,成为一个独立部分。对于实际分度值为 $1\mu\text{g}$ 或 $0.1\mu\text{g}$ 的微量或超微量天平,都是将称量室与电子部分分开成两个独立的部分。其目的即是为了减小热噪声对传感器的热影响,以利于更为稳定与准确地称量。另外,电子天平通常都没有类似家用电器的电源开关,只要给天平通电,即使显示器上无显示,天平也已处于预热状态。天平上的“ON/OFF”键只是开关显示器而已。因此经常称量的天平不必拔掉电源,尤其是高准确度天平,在条件许可的情况下,长期不断电可保持天平始终处于预热状态。

另外,温度的变化也导致电子天平灵敏度的漂移,从而产生测量偏差。灵敏度的温度系数 T_c 是电子天平的一项重要指标,用来表示灵敏度的漂移。例如梅特勒-托利多 AL 系列电子天平, $T_c = 2.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, 说明温度每变化一度时,灵敏度变化为 0.00025% 。如果称量 100g 物体,当环境变化 5°C 时,产生的最大误差为: $2.5 \times 10^{-6} \times 5 \times 100\text{g} = 1.25\text{mg}$ 。因此,当环境温度变化较大时,应对电子天平进行校准,以保证称量结果的准确。

4 正确使用电子天平的方法

如何正确使用电子天平,以消除这两个因素的影响?可采取预热天平——运动天平——校准天平,只有完成此三个步骤,才能使用天平进行稳定、准确地称量。

1) 预热天平:

根据我们的经验,对于进行计量检定的电子天平,实际分度值 $d \geq 0.01\text{mg}$ 的电子天平,预热时间至少为 5 小时,当然,低精度的电子天平可以适当减少预热时间。实际分度值 $d \leq 0.001\text{mg}$ 的微量和超微

量电子天平,预热时间则需 24 小时以上。使用中的天平,预热时间可适当减少,当天平显示器上的示值不再呈现单方向漂移时,回零/去皮后,即可称量。

2) 运动天平:

电子天平预热好以后,不要立即进行称量,要进行短暂地加载、卸载运动天平。这一点往往是众多用户所不知或忽视的一步。其实,运动天平的目的很简单,电子天平的传感器通常是由 9 片或 11 片簧片构成的弹性支承体,天平传感器就是利用这些簧片进行力的传递,使天平在平衡—失衡—再平衡的过程中,完成称量。然而,在天平处于长期通电预热阶段或较长时间停止称量时,天平传感器是处于停止工作的休眠状态,当然,这么多的簧片也是处于休眠状态,正由于上述原因,此时簧片的恢复性能不好,若这时进行称量,势必会引起天平加载后回零不好,示值稳定性不好,重复性差,天平无法稳定地称量。

3) 校准天平:

这是正确使用电子天平必不可少的重要一步,任何电子天平不进行校准,它都是不准的,即得不到准确的称量结果。许多用户都以为校准天平是计量部门的事,一旦他们将天平校准,天平就准确了,以后使用就不必再校准了,其实这种想法是非常错误的。计量部门对天平进行的只是计量性能检定,它主要包括对天平的偏载误差(即四角误差),各个载荷点的准确性及重复性检定。用户在使用电子天平时,除了前面提到的两个步骤外,还必须校准天平,否则得不到准确的称量结果。

5 结束语

电子天平的正确维护和使用对称量是否准确影响很大,要保障良好的外部使用环境,如恒温、无气流震动等,目前虽然电子天平对电压波动有一定的抗干扰性,但如电压波动较大,为保证天平的精度,需配稳压器。通过以上方法,消除影响电子天平测量准确性的因素,才能保障高精度的称量。□

参考文献

- [1] 赵亚军. 电子天平的使用与调修 200 问 [M]. 中国计量出版社, 2003
 - [2] 滕召胜. 重力加速度对电子分析天平的影响及其补偿 [J]. 计量学报, 2001, (4): 128-132
 - [3] 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 (2): 28-30
- 作者简介: 马学燕 (1969-), 女, 高级工程师, 大本毕业。
收稿日期: 2010-09-06