

电子天平示值误差的测量不确定度评定

栾 超

昌吉回族自治州计量检定所 新疆 昌吉 831100

摘 要: 电子天平使用时间久了示值会存在误差, 要确定误差处于规定的允许范围之内, 需要采取砝码直接称量的方式来进行电子天平示值误差评定。本文研究了电子天平示值误差测量结果不确定度评定, 为实际的检定工作提供了科学的保障。

关键词: 电子天平; 不确定度; 评定

Evaluation of measurement uncertainty of electronic balance indicating value error

Chao Luan

Changji Hui Autonomous Prefecture Institute of Measurement and Verification, Xinjiang Changji, 831100

Abstract: If the electronic balance is used for a long time, there will be errors in the indicating value. In order to determine the errors within the specified allowable range, it is necessary to adopt the direct weighing method to evaluate the indicating value error of the electronic balance. This paper studies the uncertainty evaluation of the measurement result of the electronic balance indicating value error, which provides a scientific guarantee for the actual verification work.

Keywords: Electronic Balance; Uncertainty; evaluation

前言

电子天平是我们常用的一种质量测量仪器, 为了在实际工作中确保整个测量过程受控, 最大可能的实现稳定性的测量结果, 需要采取测量不确定度进行衡量。简言之, 在实际的计量检定过程中, 我们如需要良好的测量能力, 就要确保测量不确定度在较高置信概率下拥有包含真值的置信区间。一般情况下, 在同一置信概率下测量不确定度越小则表示测量能力越强, 反之亦然。而怎样确定误差的测量不确定的“大小”呢? 这就需要进行测量不确定度评定。在实际的评定过程中, 需要充分考虑引起不确定度的各分量, 分析这些分量来源, 并较为准确的估计出相关分量对不确定度的影响程度, 建立测量模型、经过统计分析后来实现不确定度评定的目的。由于检测数据、获得的资料、个人经验的不同, 会导致不确定度有所差异。因此, 在电子天平不确定度评定时要掌握特点, 较为准确的评定出不确定度。本文研究了电子天平示值误差测量结果不确定度评定的方法, 为实际的检定工作提供了一定的参考。

一、测量概述

本次不确定度评定主要采取直接称量法, 所使用的测量依据是 JJG1036-2008《电子天平》; JJG99-2006《砝码》; JJF 1059-2012《测量不确定度评定与表示》。电子天平对使用的环境条件要求较高, 按照规程要求温度控制在 $(-10\sim 40)$ °C,

相对的空气湿度应 $\leq 80\%RH$ 。本次实际的环境条件是温度 $27.5^{\circ}C$, 相对湿度 $48.2\%RH$, 符合规程要求。需要注意的是在确保恒温的条件下, 在使用前要进行 1h 的通电预热, 确保电子天平的稳定运行。

测量使用的标准为 F1 等级克组砝码标准, 其扩展不稳定性为 $0.01mg\sim 1mg$ 。待测对象为最大称量 200g 的电子天平, 其最大允许误差 $\pm 1.0mg$, 分度值为 $0.1mg$, 检定分度值 $e=10d$ 。

在本次测量中, 使用砝码标准来测量电子天平, 电子天平所显示的示值与采用的标准砝码的值之间的差, 即为所测得的相应的示值误差。标准砝码的值为该 F1 等级砝码标称值。

在本文中电子天平示值误差的测量不确定度评定方法以该电子天平在 200g 最大称量点为例, 其它的称量点的相应的不确定度评定可以参照本文中所列的方法进行示值误差的不确定度评定。

二、建立数学模型

1. 数学模型

$$\Delta m = m - m_s$$

式中: Δm : 电子天平的示值误差;

m : 电子天平的示值;

m_s : 标准砝码实际值。

2. 灵敏系数

$$c_1 = \partial \Delta m / \partial m = 1$$

$$c_2 = \partial \Delta m / \partial m_s = -1$$

3. 传播律公式

当输入量彼此独立时，所以满足传播律公式

$$u_c^2(\Delta m) = \left[\frac{\partial \Delta m}{\partial m} \cdot u(m) \right]^2 + \left[\frac{\partial \Delta m}{\partial m_s} \cdot u(m_s) \right]^2 = [c_1 \cdot u(m)]^2 + [c_2 \cdot u(m_s)]^2 =$$

三、分析、计算各输入量的标准不确定度及其自由度

1. 输入量 m_s (即标准砝码实际值) 引起的标准不确定度 $u(m_s)$ 评定可用下式计算:

$$u(m_s) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inst}^2(m_s)}$$

式中: $u_{inst}(m_s)$ —标准砝码的质量不稳定性导致的不确定度

本次测量中所用标准砝码最大允许误差 $\pm 1.0\text{mg}$, 按照 JJG99-2006《砝码检定规程》中第 5.2 条的规定, 需要考虑质量不稳定性导致的不确定度。

首先, 要折算其质量的扩展不确定度。采用的标准砝码的实际值来折算质量的不稳定性导致的扩展不确定度为该砝码最大允许误差的三分之一。由此可以得出, 在覆盖因子 $k=2$ 情况下, 该标准砝码的折算质量的扩展不确定度 U 为 0.33mg 。

其次, 要分析该标准砝码质量不稳定性导致的不确定度。在日常的检定工作中, 每次测量砝码都会产生质量的变化。按照经验标准砝码质量的变化符合均匀分布。可以用标准砝码质量的测得值计算出该标准砝码质量不稳定性造成的不确定度 $u_{inst}(m_s)$ 。

$$\text{即: } u_{inst}(m_s) = \frac{m_s(\text{max}) - m_s(\text{min})}{2 \times \sqrt{3}}$$

在 5 个周期内该标准砝码质量变化最大幅度为 0.3mg , 得出:

$$u_{inst}(m_s) = 0.087\text{mg}$$

$$u(m_s) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inst}^2(m_s)} = \sqrt{\left(\frac{0.33}{2}\right)^2 + 0.087^2} = 0.19\text{mg}$$

以上数据来源比较可靠, 则可得出相应的自由度 ν_{ms} 为 100。

2. 电子天平示值标准不确定度分量的评定

包括以下三个分量:

一是 $u(m_1)$, 即测量重复性(复现性)引入的标准不确定

度。

二是 $u(m_2)$, 即电子天平四角误差引入的标准不确定度。

三是 $u(m_3)$, 即电子天平分辨力引入的标准不确定度。

(1) 测量重复性(复现性)引入的标准不确定度

本次评定本质上是标准装置复现量值的不确定度, 考虑测量重复性一般来源是测试对象的重复性引入的标准不确定度。从这个逻辑来分析, 标准砝码的实际值是稳定并可靠的, 只需对标准砝码进行重复性实验, 就可以采用 A 类方法得到该电子天平测量重复性引入的标准不确定度。经过重复性测量得到 10 个重复性的示值。示值见表 1, 单位: 克(g)

200.0005	200.0005	200.0002	200.0003	200.0004
200.0002	200.0003	200.0004	200.0002	200.0003

经计算, 单次重复性测量结果的实验标准偏差为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.13\text{mg}$$

改变单一影响因素, 使用该砝码标准在重复性条件下对该电子天平在相同的称量点处完成 2 组重复性测量, 每组按照要求连续测量 10 次, 对获得的 6 组重复性数值, 分别计算其实验标准差, 结果见表 2, 单位: 毫克(mg)。

表 2 重复性实验标准偏差计算结果

实验标准偏差 s_j	0.13	0.12	0.13
	0.14	0.12	0.13

$$\text{合并样本标准差为 } s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} = 0.13\text{mg}$$

$$\text{因为 } \sigma_{s_j} = \sqrt{\frac{\sum (s_j - \bar{s})^2}{m-1}} = 0.008\text{mg} < \frac{s_p}{4} = 0.032\text{mg}$$

所以可使用 s_p 代替 s_j 。

式中: s_j : 表示第 j 次重复性测量时的实验标准偏差

m : 表示重复性测量的次数

$$\text{可得 } u(m_1) = s_p = 0.13\text{mg}$$

$$\text{则自由度 } \nu_{m1} = m(n-1) = 54$$

(2) 电子天平四角误差引入的标准不确定度

按照规程规定, 在偏载的五个区域进行荷载来检定四角误差, 得到的测量值按 B 类方法进行评定。

在量程范围内, 电子天平的四角误差 $\pm 1.0\text{mg}$, 其符合均匀分布, 则包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。

由四角误差引入的标准不确定度按照规程中规定的公式计算。

$$u(m_2) = \frac{\frac{d_1}{d_2} \times D}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{1}{2 \times \sqrt{3}} \times 1.0 = 0.10 \text{mg}$$

估计 $\frac{\Delta u(m_2)}{u(m_2)}$ 为 0.10, 则可以得出相应的自由度 ν_{m2} 为 50。

(3) 电子天平分辨力引入的标准不确定度按 B 类方法进行评定。

该待检电子天平分辨力为 0.0001g, 服从正态分布。

$$\text{则: } u(m_3) = \frac{0.1/2}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{mg}$$

估计 $\frac{\Delta u(m_2)}{u(m_2)}$ 为 0.10, 则可以得出相应的自由度 ν_{m2} 为

50。

因上述各分量彼此对立不相关, 那么

$$u(m) = \sqrt{u^2(m_1) + u^2(m_2) + u^2(m_3)} = 0.17 \text{mg}$$

$$\text{自由度 } \frac{\nu_{(m)} \cdot \frac{u^4(m)}{u^4(m_1) + u^4(m_2) + u^4(m_3)}}{\frac{\nu_{m_1}}{u^4(m_1)} + \frac{\nu_{m_2}}{u^4(m_2)} + \frac{\nu_{m_3}}{u^4(m_3)}} = 114$$

四、标准不确定度汇总表

表 3 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (mg)	ν	ci	$ c_i \cdot u(x_i)$
$u(m_s)$	标准砝码不确定度	0.19	100	-1	0.19mg
$u(m)$	输入量 m 的标准不确定度 $u(m_1)$	0.13	54		
	$u(m_2)$	0.17	50	1	0.17mg
	$u(m_3)$	0.029	50		

五、合成标准不确定度评定

5.1 合成标准不确定度 $u_c(\Delta m)$

由本文中 2.3 可得:

$$u_c^2(\Delta m) = \left[\frac{\partial \Delta m}{\partial m} \cdot u(m) \right]^2 + \left[\frac{\partial \Delta m}{\partial m_s} \cdot u(m_s) \right]^2 = [c_1 u(m)]^2 + [c_2 u(m_s)]^2$$

$$u_c(\Delta m) = \sqrt{[c_1 \cdot u(m)]^2 + [c_2 \cdot u(m_s)]^2}$$

电子天平的合成标准不确定度为

$$u_c(\Delta m) = \sqrt{0.17^2 + 0.19^2} = 0.25 \text{mg}$$

5.2 有效自由度 ν_{eff} 为:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(\Delta m)}{\frac{[c_1 \cdot u(m)]^4}{\nu_m} + \frac{[c_2 \cdot u(m_s)]^4}{\nu_{m_s}}} = \frac{0.25^4}{\frac{0.17^4}{50} + \frac{0.19^4}{100}} = 131 \approx 100$$

(取有效自由度 ν_{eff} 为 100)

六、扩展不确定度的评定

取置信概率 $p=95\%$, 按有效自由度 $\nu_{\text{eff}}=100$, 查表得 $k_{95}=1.984$

扩展不确定度 $U_{95}=k_{95} \cdot u_c(\Delta m)=1.984 \times 0.25 \text{mg}=0.5 \text{mg}$

七、测量结果不确定度的报告与表示

综上所述, 该电子天平在 200g 称量点示值误差测量结果的不确定度可表示为:

$$U_{95}=0.5 \text{mg}, \nu_{\text{eff}}=100$$

参考文献:

- [1] JJG 1036-2008. 电子天平[S]. 2008
- [2] JJF 1059.1-2012. 测量不确定度评定与表示[S]. 2012
- [3] JJG 99-2006. 砝码[S]. 2006