

影响电子天平计量准确性的因素及不确定度评定

□胡姣姣 罗检民 王赛 莫渝 周顺烨

(湖南省计量检测研究院, 长沙 410014)

【摘要】电子天平在运输和使用过程中易受外界因素干扰, 导致计量精度下降。本文分析了影响电子天平计量准确性的主要因素, 并以100g 测量点为例, 评定了其示值误差的不确定度。结果表明, 电子天平的测量不确定度主要来源于测量重复性和分辨力。本文为电子天平的检定和校准提供了参考。

【关键词】电子天平; 影响因素; 示值误差; 不确定度评定

文献标识码: A

文章编号: 1003-1870 (2025) 05-0036-03

Factors Affecting Measurement Accuracy of Electronic Balances and Evaluation of Uncertainty

【Abstract】The electronic balance is easily disturbed by external factors during transportation and use, resulting in a decrease in measurement accuracy. In this paper, the main factors affecting the measurement accuracy of electronic balances are analyzed, and the uncertainty of indication error is evaluated by taking the 100g measuring point as an example. The results show that the measurement uncertainty of the electronic balance is mainly attributed to the measurement repeatability and resolution. This paper provides a reference for the verification and calibration of electronic balances.

【Keywords】electronic balance; influencing factor; indication error; uncertainty evaluation

引言

电子天平作为重要的测量工具, 广泛应用于贸易结算和工业生产中。然而, 电子天平在运输和使用过程中易受外界因素干扰, 导致计量精度下降。为了确保电子天平的测量准确性和可靠性, 有必要研究其影响因素, 并评定其测量不确定度。本文以100g 测量点为例, 分析了电子天平示值误差的不确定度评定过程。

新版检定规程中新增了“置零准确度”与“除皮称量”等检定内容, 提出了更为详细的要求, 使标准更加契合 OIML R76 国际建议的规定^[1]。

1 影响电子天平计量准确性的因素

1.1 环境因素

检定过程应在稳定的环境温度条件下进行。如果没有特定的工作温度限制, 测量性能应在-10℃至+40℃的温度范围内保持稳定。其中, 温差对于I级天平不超过1℃, 其他等级天平不超过5℃。湿度对于天平的影响也较大, I级天平不超过80%, 其他等级天平不超过85%。此外, 振动、气流、磁场以及大气中的水汽凝结等影响因素也会对检定过程产生影响。检定的工作环境要保持清洁, 操作平台要平整、稳固。

1.2 人为因素

检定过程必须由两名专业计量检定人员配合完成，其中一人负责检测，另一人负责核验。计量人员的技能水平和专业能力直接影响到衡器检定和校准工作的稳定性、准确性和可行性。检定工作应严格按照JJG 1036-2022《电子天平检定规程》进行，排除人为因素的影响。计量人员应定期参加培训，确保其具备相应的资质和能力。

1.3 方法因素

天平在检定前要做好清洁工作，天平和砝码尽量避免阳光照射，调节水平支架，使天平指示器的水平处在中心位置，开机预热，检定时关闭自动置零装置、零点跟踪装置，或加小砝码超出零点跟踪范围，进行一次接近最大称量的预加载，确保天平的稳定性。校准时，先按开机键，在不放置任何物体的状态下长按几秒“cal”键，直到听到滴的声音，会显示出“校准砝码值”后，把对应重量值的标准砝码放置秤盘中间，显示屏显示“……”后，进入校准状态，稍后等到显示屏显示与标准砝码相同的重量值后，即校准完毕。

1.4 装置因素

电子天平的计量检定应配备一套符合JJG99-2019《砝码检定规程》要求的标准砝码。在检定过程中，若使用的是砝码的实际质量值，则砝码的扩展不确定度不应超过对应负载的最大允许误差的绝对值。若在检定过程中使用的是砝码的标称值，则砝码的最大允许误差不应超过对应负载的最大允许误差的绝对值^[2]。

2 电子天平校准测量值误差的不确定度评估

测量值误差的不确定度是影响测量结果不确定度的重要组成部分，准确评估这一不确定度在量值溯源过程中具有重要意义。以下以一台“检定分度值 $e = 0.1\text{g}$ 、实际分度值 $d = 0.01\text{g}$ 、最大称量 620g 、最小称量 0.2g ”的电子天平为例，对这台电子天平的 100g 测量点的测量值误差的不确定度进行评估。

2.1 测量过程简述

2.1.1 国家计量技术规范

JJG 1036-2022《电子天平检定规程》、JJF 1059.1-2012《测量结果不确定度评定与表示》。

2.1.2 测量环境条件

测量现场的温度为 $20.0\text{℃} \pm 0.3\text{℃}$ ，相对湿度为 $65\% \pm 5\%$ ，不存在振动源、气流或磁场等影响因素。被测的电子天平和标准砝码，未受到阳光直接照射。

2.1.3 标准砝码

已由上级计量技术机构确认合格的 F1 级标准砝码的称量范围为 1mg 至 500g 。

2.1.4 测量对象

电子天平，器具型号为 PTY-B620，出厂编号为 211191，最大称量 620g ，最小称量 0.2g 、检定分度值 $e=0.1\text{g}$ ，实际分度值 $d=0.01\text{g}$ ，Ⅲ级，厂商为华志（福建）电子科技有限公司，监制为美国康州 HZ 电子有限公司。

2.1.5 测量方法

在 F1 级标准砝码的检定合格后，可直接将其置于电子天平的秤盘上，以获取电子天平的读数。通过从天平的读数中减去标准砝码的标称值，即可得到测量点处电子天平的读数误差。

2.2 测量模型的建立

根据国家计量技术规范 JJG 1036-2022《电子天平检定规程》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中的内容，可以建立一个测量模型：

$$\Delta m = P - m \quad (1)$$

式中： Δm 为电子天平的示值误差， g ； P 为电子天平的示值， g ； m 为标准砝码的标称值， g 。

2.3 不确定度来源分析

基于已建立的测量模型，主要影响电子天平指示误差的因素可表述如下：由被测电子天平测量重复性引起的标准不确定度分量 $u(P_1)$ 、由被测电子天平分辨率限制引起的不确定度分量 $u(P_2)$ ，以及由标准砝码的标准值引起的不确定度分量 $u(m)$ 。

2.4 评定各输入分量的标准不确定度

2.4.1 输入量 P 的标准不确定度分量 $u(P)$

输入量 P 的标准不确定度 $u(P)$ 主要有两个来源：测量重复性和电子天平的分辨力。

测量重复性引起的标准不确定度分量 $u(P_1)$ 的评定（按照 A 类评定方法），对电子天平 100g 测量点，在重复性测量条件下连续独立测量 10 次（ $n=10$ ），每次测得数据如表 1。

表1 100g测量点的测量数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量数据/g	100.00	100.00	99.99	99.99	100.00	100.00	99.99	99.99	99.98	100.00

其算术平均值为：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 99.99\text{g} \quad (2)$$

用贝塞尔公式计算，其单项实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 6.99\text{mg} \quad (3)$$

选取了三台同类型电子天平。针对每台天平均在 100 g 测量点，按照上述方法进行了3 次测量。每组测量均重复了 10 次（n=10），从而形成了总共 9 组（m=9）测量系列。各组单次测量的标准偏差结果见表 2。

表2 各测量列的实验标准偏差 s_j

n	m								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	99.99	99.99	100.00	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00
2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00
3	99.99	100.00	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.01	100.00	100.00	100.00	100.00
5	99.98	99.98	99.98	99.99	99.98	99.99	99.98	99.98	99.98
6	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.99
7	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	99.99	99.99	99.99	99.99
8	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.01	100.00	100.00	100.00
9	100.01	100.01	100.01	100.01	100.01	100.01	100.00	100.01	100.01
10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00
平均值/g	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	99.99	100.00
实验标准偏差 s_j/mg	9.66	9.72	9.72	8.50	10.75	9.72	8.23	9.49	8.43

合并样本标准差

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m s_j^2}{m}} = 9.39\text{mg} \quad (4)$$

$$\text{则 } u(P_1) = s_p / \sqrt{10} = 2.97\text{mg} \quad (5)$$

对由天平分辨率所引起的标准不确定度分量 $u(P_2)$ 的评估（按照B类评定的方法进行）。此电子天平的实际分度值 $d=0.01\text{ g}$ ，并服从均匀分布，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ 则

$$u(P_2) = (d/2) / \sqrt{3} = 2.89\text{mg} \quad (6)$$

由此可以得出输入量 P 的标准不确定度 $u(P)$ 。因 P_1 和 P_2 互相独立，则

$$u(P) = \sqrt{u(P_1)^2 + u(P_2)^2} = 4.14\text{mg} \quad (7)$$

2.4.2 输入量 m 的标准不确定度分量 $u(m)$ （通过B类评估方法得出）

对于此次测量，采用了F1级标准砝码，这些砝码已由上级计量技术机构进行了检定并合格。根据JJG 99-2022《砝码检定规程》得出，100g F1 等级标准砝码的最大允许误差 $\text{MPE} = \pm 0.3\text{ mg}$ ，并服从均匀分布，包含因子取值 $k=\sqrt{3}^{[3]}$ ，则

$$\text{二等标准砝码为 } u(m) = \frac{|\text{MPE}|}{\sqrt{3}} = 0.17\text{mg} \quad (8)$$

2.5 合成标准不确定度的评定

2.5.1 灵敏系数

测量模型： $\Delta m = P - m$ 。灵敏系数

$$c_p = \frac{\partial \Delta m}{\partial p} = 1 \quad (9)$$

$$c_p = \frac{\partial \Delta m}{\partial m} = -1 \quad (10)$$

2.5.2 标准不确定度分量汇总表

各标准不确定度分量汇总表见表3。

表3 各标准不确定度分量汇总表

标准不确定度 u_i	标准不确定度来源	标准不确定度/mg
$u(P)$	天平测量重复性、天平分辨力	2.97 2.89
$u(m)$	F1 等级标准砝码	0.17

2.5.3 合成标准不确定度的计算

由于不确定性各组成部分之间不存在相关性，即

$$u_c = \sqrt{u_m^2 + u_p^2} = 4.14 \text{ mg} \quad (11)$$

2.5.4 扩展不确定度的计算

在置信水平 $p=0.95$ ，且有效自由度 $\nu_{\text{eff}} = \infty$ 条件下， $k=2$ ，因此：

$$U_{95} = k \times u_c(\Delta m) = 2 \times 4.14 = 8.28 \text{ mg} \quad (12)$$

取 $U_{95} = 8.28 \text{ mg}$ 。

2.6 测量不确定度报告

在100g的测量点，电子天平显示的数值为99.99g，其示值误差 $\Delta m = -10 \text{ mg}$ ，此示值误差对应的扩展不确定度为 $U_{95} = 8.28 \text{ mg}$ ， $k=2^{[4,5]}$

3 结语

本文简要介绍了Ⅲ级电子天平常见测量不确定度评估的过程，列举了影响测量不确定度的相关因素，并给出了评估测量不确定度的模型、方法和步骤，同时计算了扩展不确定度。希望本文能为该行业的技术人员提供参考。

业的技术人员提供参考。

电子天平在日常检定过程中经常搬动，易影响天平的准确性。建议检定过程在现场进行检定，务必确保天平始终处于水平状态，处于稳定、准确的环境中。

未来的研究可以进一步探讨电子天平在不同环境条件下的计量性能，以及如何通过技术手段减少外界因素对计量精度的影响。

参考文献

- [1] 刘炜，傅忆宾. JJG 1036-2022《电子天平检定规程》的理解与探讨[J]. 衡器，2023（7）：30-31.
- [2] 全国质量密度计量技术委员会. JJG 1036-2022《电子天平检定规程》[S]. 北京：中国标准出版社，2022.
- [3] 全国法制计量管理计量技术委员会. JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》[S]. 北京：中国标准出版社，2013.
- [4] 中国计量科学研究院. JJF 1059-1999《测量不确定度评定与表示》[S]. 北京：中国计量出版社，2001.
- [5] 徐峰. 液态物料定量灌装机灌装量设置与测量结果不确定度评定[J]. 衡器，2013，42(12):3.

作者简介

胡姣姣（1993—），女，汉族，硕士，工程师，就职于湖南省计量检测研究院。主要研究方向为商品计量、衡器计量。