

F₁ 等级 50g 砝码测量结果的不确定度评定

□马鞍山市计量测试研究所 花东 杨宝华

【摘要】本文依据JJG99-2022《砝码检定规程》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》，分析了50g砝码的测量过程，建立了相关的测量模型，并对不确定度来源进行分析，对F₁等级50g砝码的测量结果不确定度进行了评定。对于在实际测量过程中符合本文条件的测量结果，可以参照使用不确定度的评定方法。

【关键词】砝码；测量结果；电子天平；不确定度评定

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2024）08-0028-03

引言

砝码是质量量值传递的标准量具，砝码是具有给定质量和规定形状的实物量具，供检定衡器和在衡量仪器上进行砝码检定时使用。砝码必须与天平或秤相结合（用于秤上的砝码常称为砵）才能用于测定其他物体的质量，故它是一种从属的实物量具。本文依据JJG99-2022《砝码检定规程》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》对F₁等级50g砝码测量结果的不确定度进行评定。

测量方法：依据JJG99-2022《砝码检定规程》采用ABBA循环的双次替代衡量法。校准前，先将标准砝码在砝码检定室存放24h以上，被校砝码存放12h以上。按ABBA循环可得到标准砝码与被测砝码之间差值，将其差值加上E₂等级砝码的约定质量值作为被测F₁等级砝码的约定质量值。由两人各检一次，取两次的算术平均值作为被测F₁等级砝码的测量结果。

环境条件：温度：19.7℃；相对湿度：48.8%；温度波动每4h不大于2℃，相对湿度波动每4h不大于15%；大气压力：101.80kPa。

测量标准器：E₂等级砝码（标称质量：50g；约定质量修正值：0.03mg；密度值：8.00g/cm³）。

被测对象：砝码（标称质量：50g，器号：6446；

材质：304 不锈钢；生产厂家：蓬莱水玲砝码厂；密度值：7.85g/cm³）。

1 测量过程

在恒温恒湿实验室参照JJG99-2022《砝码检定规程》，采用精密衡量法校准砝码，采用测量循环（ABBA）的方式进行，重复测量10次，取其平均值作为测量结果。

2 不确定度评定

2.1 测量模型

$$m_{ct} = m_{cr} + m_{cr}(\rho_a - \rho_0) \times \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right) + \Delta m \times \frac{m_{cs}}{\Delta I_s}$$

式中： m_{ct} ——被检砝码的约定质量值

m_{cr} ——标准砝码的约定质量值，50.00003g

ρ_t ——被检砝码的密度值，7.85g/cm³

ρ_r ——标准砝码的密度值，8.00g/cm³

ρ_a ——空气密度实测值，1.21 × 10⁻³g/cm³

ρ_0 ——空气密度参考值，1.2 × 10⁻³g/cm³

Δm ——从天平上读取被检砝码和标准砝码的质量差值

ΔI_s ——由于添加灵敏度小砝码而引起的天平示值变化

m_{cs} ——测量天平灵敏度时所添加小砝码的约定质量值，1.001mg

2.2 不确定度分量的评定

2.2.1 测量过程的标准不确定度分量 $u_w(\overline{\Delta m})$

本次校准采用测量循环（ABBA）的方式进行，

重复测量10次，取10次质量差值的平均值作为测量结果，则该平均值的实验标准差，即衡量过程的标准不确定度。10次质量差值结果见表1所示。

表1 F₁等级50g砝码在重复性条件下连续测量10次得到的测量值

Δm (mg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0.06	0.045	0.075	0.07	0.065	0.065	0.06	0.055	0.065	0.06

经计算： $\overline{\Delta m} = 0.062 \text{ mg}$

$$\text{代入公式： } u_w(\overline{\Delta m}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta m_i - \overline{\Delta m})^2}{n(n-1)}} = 0.003 \text{ mg}$$

2.2.2 标准砝码的不确定度 $u(m_{cr})$

本次校准采用标准砝码约定质量值，砝码的不稳定性的值将根据JJG99-2022《砝码检定规程》的规定：“在规定的准确度等级（E₁等级砝码除外）内，任何一个质量标称值为 m_0 的单个砝码，首次检定中，约定质量 m_c 与砝码标称值 m_0 的差，正值不能超过最大允许误差绝对值 $|MPE|$ 的2/3，负值的绝对值不能超过最大允许误差绝对值 $|MPE|$ 的1/3”。经查50gE₂等级砝码的最大允许误差为： $\pm 0.10 \text{ mg}$ 。

$$\text{即： } u_{\text{inst}}(m_{cr}) = |MPE| / 3\sqrt{3} = 0.020 \text{ mg}$$

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\left(\frac{|MPE|}{6}\right)^2 + u_{\text{inst}}^2(m_r)} = 0.026 \text{ mg}$$

2.2.3 电子天平引入的不确定度分量 u_{ba}

该不确定度分量包含灵敏度引起的不确定度 u_s ，分辨率引起的不确定 u_d 和偏载引起的不确定度 u_E

$$\text{灵敏度： } u_s = \sqrt{(\overline{\Delta m})^2 \left(\frac{u^2(m_{cs})}{m_{cs}^2} + \frac{u^2(\Delta I_s)}{\Delta I_s^2} \right)}$$

式中： $\overline{\Delta m}$ ——标准砝码与被检砝码差值的平均值

m_{cs} ——添加灵敏度小砝码的约定质量值

$u(m_{cs})$ ——添加灵敏度小砝码的质量不确定度

$u(\Delta I_s)$ ——添加小砝码所引起示值变化的不确定度

灵敏度采用的是约定质量为1.001mg的小砝码，经10次重复测量天平的显示值见表2所示。

表2 10组单次实验标准差测量列表

ΔI_s (mg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1.02	1.02	1.01	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01

经计算： $u_s = 0.0004 \text{ mg}$

分辨力：本次校准使用天平的实际分度值 $d=0.01 \text{ mg}$ ，所以可知

$$u_d = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}} \right) \times \sqrt{2} = 0.0041 \text{ mg}$$

偏载：

$$u_E = \frac{|\Delta I_1 - \Delta I_2|_{\text{max}}}{\sqrt{3}} = \frac{0.075 - 0.045}{\sqrt{3}} = 0.018 \text{ mg}$$

天平合成标准不确定度：

$$u_{ba} = \sqrt{u_s^2 + u_d^2 + u_E^2} = \sqrt{0.0004^2 + 0.0041^2 + 0.018^2} = 0.019 \text{ mg}$$

2.3 空气浮力修正的不确定度 u_b

按照砝码检定规程的要求，当空气浮力引入误差不得超过被检砝码最大允许误差的1/9时，可不进行空气浮力修正。本次测量中，E₂等级50g标准砝码体积为 $V_{ref}=12.50 \text{ cm}^3$ ，测量不确定度为 $uV_{ref}=0.0032 \text{ cm}^3$ ；被检50g砝码的体积 $V_{test}=12.748 \text{ cm}^3$ ，测量不确定度 $uV_{test}=0.0034 \text{ cm}^3$ 。所以 $m_{c|c}|=0.00248 \text{ mg}$ 。

F₁等级50g砝码最大允许误差为 $\pm 0.3 \text{ mg}$ ，该计算结果小于被检砝码最大允许误差的1/9，无需进行空气浮力修正，但浮力影响的不确定度贡献不能被忽略，即要将此数据放入不确定度评定中。

根据公式： $u_b^2 = \left[m_{cr} \frac{\rho_r - \rho_l}{\rho_r \rho_l} u(\rho_a) \right]^2 + [m_{cr}(\rho_a - \rho_0)]^2 \frac{u^2(\rho_l)}{\rho_l^4} - m \frac{2}{cr} (\rho_a - \rho_0)[(\rho_a - \rho_0) + 2(\rho_{a1} - \rho_a)] \frac{u^2(\rho_r)}{\rho_r^4}$

计算出空气浮力修正的标准不确定度为： $u_b^2 = 0.00121 \text{mg}$

则 $u_b = \sqrt{u_b^2 + (m_c C)^2} = \sqrt{0.00121^2 + 0.00248^2} \approx 0.003 \text{mg}$

2.4 合成标准不确定度的评定

2.4.1 标准不确定度汇总(表3)

表3 标准不确定度汇总表

标准不确定度的分量	不确定度来源	标准不确定度
$u_w(\overline{\Delta m})$	砝码的测量重复性	0.003mg
$u(m_{cr})$	标准砝码	0.026mg
u_{ba}	电子天平	0.019mg
u_b	空气浮力	0.003mg

2.4.2 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_w^2(\overline{\Delta m}) + u^2(m_{cr}) + u_{ba}^2 + u_b^2} = \sqrt{0.003^2 + 0.026^2 + 0.019^2 + 0.003^2} = 0.032 \text{mg} \approx 0.04 \text{mg}$$

2.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度 $U=0.04 \times 2=0.08 \text{mg}$

2.6 测量结果的扩展不确定度为

由于 F_1 等级被检砝码 50g 的最大允许误差为 $\pm 0.30 \text{mg}$ ，而评定出的测量结果的扩展不确定度： $U=0.08 \text{mg}$ ， $k=2$ ，符合标准砝码与被检砝码的最大允许误差，应符合优于 1/3 的要求。

参考文献

[1] JJF1181-2007 国家质量监督检验检疫总局. 衡器计量名词术语及定义[S]. 北京：中国质检出版社，2007.

[2] JJG99-2022 国家质量监督检验检疫总局. 砝码[S]. 北京：中国计量出版社，2022.

[3] JJF1059.1-2012 国家质量监督检验检疫总局. 测量不确定度评定与表示[S]. 北京：中国质检出版社，2013.

[4] 天平砝码测量不确定度评定[S]. 北京：中国质检出版社，2012.

作者简介

花东（1983.07—），男，汉族，大学本科学历，学士学位，国家一级注册计量师，工程师。现供职于安徽省马鞍山市计量测试研究所，从事力学、几何量、热学计量工作。