

标准比对中砝码检定方法的实例介绍

□福建省福清市计量检测所 丁诚

【摘要】为保证砝码在标准比对中检测数据的准确，确保砝码测量结果的有效性，从而判定该实验室砝码量值传递是否在规定的范围内。本文对砝码的检定方法进行探讨。

【关键词】砝码检定；方法探讨

前言

砝码是一种复现质量值的实物量具，它具有一定的物理特性和计量特性。它广泛应用于各个部门，因此砝码的检定对保证实物的准确可靠是很重要的，特别是在标准比对中，正确的检定方法是保证实验室的测量结果在规定的范围内，从而判定该实验室量值传递的准确性。本文对砝码的检定方法进行了分析和举例。

1 确定检定项目

由于本次传递标准 F_2 等级的100g砝码和200mg砝码为开展标准比对只检定其折算质量，在砝码检定中有进行和不进行空气浮力修正的两种情况，本文按照不进行空气浮力修正的要求进行。

2 确定检定的人次和循环方法

根据JJG99-2006《砝码》计量检定规程7.3.5.1的规定， F_2 等级砝码当测量循环次数为1次时，只需一名检定员检定，采用ABBA测量循环。

注：砝码检定的测量循环次数与后面衡量仪器选择时的不确定度分析与最后砝码检定结果的不确定度评定有关。

3 标准砝码的选择

根据JJG 2053-2006 质量计量器具检定系统表3.1.4条和JJG99-2006砝码计量检定规程7.2.3条“标准砝码至少应比被检定砝码高一准确度等级，其质

量扩展不确定度应不大于被检砝码质量最大允许误差的九分之一”，计量标准选择 F_1 等级的带修正值的砝码。原因有二：

(1) F_1 等级砝码比 F_2 等级砝码高一等级，且符合JJG 2053-2006 质量计量检定系统表量传3.1.2要求。

(2) 查JJG99-2006砝码计量检定规程中表1和5.2条得知，100g F_1 等级砝码的扩展不确定度 $U=0.16\text{mg}$ ；200mg F_1 等级砝码的扩展不确定度 $U=0.02\text{mg}$ ；100g F_2 等级砝码的质量允差 $|\text{MPE}|=1.6\text{mg}$ ；200mg F_2 等级砝码的质量允差 $|\text{MPE}|=0.20\text{mg}$ ；100g： $U/|\text{MPE}|=0.16\text{mg}/1.6\text{mg}=1/10$ ；200mg： $U/|\text{MPE}|=0.02\text{mg}/0.20\text{mg}=1/10$ 。均符合该等级砝码检定精度的要求。

4 衡量仪器的选择

根据JJG99-2006砝码计量检定规程7.2.2.1条“如果被检砝码进行空气浮力修正，衡量仪器其合成标准不确定度（即重复性、灵敏度、分辨力、偏载等的合成）应不得超过被检砝码质量最大允许误差绝对值的六分之一；如果被检砝码不进行空气浮力修正，则合成标准不确定度不得超过被检砝码质量最大允许误差绝对值的九分之一”的规定，由于本次检定未进行空气浮力修正，因而衡量仪器其合成标准不确定度应不大于被检砝码质量最大允许误差绝对值的九分之一。

100g F_2 等级砝码的质量允差 $|\text{MPE}|=1.6\text{mg}$ ，其九分之一值为0.18mg；200mg F_2 等级砝码的质量允差 $|\text{MPE}|=0.20\text{mg}$ ，其九分之一值为0.02mg。在合成衡量仪器标准不确定度的各分量中，最大的一项分量应是“重复性”，因而我们首先应选择重复性不大于

0.18mg 的天平和0.02mg 的天平分别检定100g 砝码和200mg 砝码。天平的重复性的表达方法有两种，分别为用极差法表示和标准偏差法表示。通常机械的用极差法，数显的用标准偏差法，有关这些衡量仪器的技术指标可依据天平的计量检定规程中获得，也可根据厂商的有关技术说明中获得。

下面我们选择BS-224S 电子天平和BT25S 电子天平，并分别进行分析：

4.1 BS-224S 电子天平的合成不确定度 u_{ba}

(1) 重复性引入的标准不确定度分量 u_p

用BS-224S 电子天平对100g 砝码在重复性条件下连续测量10 次的重复性为0.08mg(单次测量的标准偏差s), 因此，由天平重复性引入的标准不确定度分量：

$$u_p=s=0.08\text{mg}$$

(2) 灵敏度引入的不确定度分量 u_s

对电子天平，如果使用的衡量仪器的示值误差符合JJG 1036-2008 计量检定规程中的技术要求时，在被检砝码和标准砝码的平均质量差随时间、温度和载荷变化是恒定的情况下，这一分量可以忽略不计。由于本例为用 F_1 等级的100g 砝码检定 F_2 等级100g 砝码质量相同，并且随时间、温度和载荷变化质量差恒定不变，因而灵敏度引入的不确定度 u_s 忽略不计。

(3) 分辨力引入的不确定度分量 u_d

由于BS-224S 电子天平是数字式衡量仪器，根据2006 年砝码规程附录C 不确定度计算 (C.4.3)，则

$$u_{ba} = \sqrt{u_p^2 + u_d^2 + u_E^2} = \sqrt{(0.08\text{mg})^2 + (0.041\text{mg})^2 + (0.096\text{mg})^2} = 0.132\text{mg} \quad (3)$$

由于BS-224S 电子天平的合成不确定度为0.132mg，小于被检砝码质量允差1.6mg 的1/9，所以BS-224S 电子天平适用于开展100g F_2 等级砝码的检定。

4.2 BT25S 电子天平的合成不确定度 u_{ba}

(1) 重复性引入的标准不确定度分量 u_p

用BT25S 电子天平对200mg 砝码在重复性条件下连续测量10 次的重复性为0.0047mg(单次测量的标准偏差s), 因此，由天平重复性引入的标准不确定度分量： $u_p=s=0.0047\text{mg}$

分辨力引入的不确定度分量如下：

$$\mu_d = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}} \right) \times \sqrt{2} = 0.041\text{mg} \quad (1)$$

式中： μ_d ——分辨力引入的不确定度；
 d ——电子天平实际分度值；

由于标准砝码和被检砝码读数的不确定因素，需采用数值 $\sqrt{2}$ 。

(4) 由偏载引入的不确定度分量 u_E

根据JJG1036-2008 电子天平检定规程7.3.2 条，BS-224S 电子天平偏载测试的最大允许误差为1.0mg，测量过程中砝码偏离秤盘的中心位置的极限值为1/3，根据2006 年砝码规程附录C 不确定度计算 (C.4.4.1)，则偏载引入的不确定度分量为：

$$\mu_E = \frac{\frac{d_1}{d_2} \times D}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{3} \times 1.0\text{mg}}{2 \times \sqrt{3}} = 0.096\text{mg} \quad (2)$$

式中： μ_E ——偏载引入的不确定度；
 D ——电子天平实际分度值；

$\frac{d_1}{d_2}$ ——砝码偏离秤盘中心位置的极限值；

由于在检定过程中采用电子天平作为衡量仪器，因此可忽略砝码交换检定带来的不确定度，同时由于标准砝码与被检砝码经检定其磁性满足JJG99-2006《砝码》检定规程的要求，亦可忽略磁性引起的不确定度。

(5) BS-224S 电子天平的合成不确定度 u_{ba}

(2) 灵敏度引入的不确定度分量 u_s

对电子天平，如果使用的衡量仪器的示值误差符合相应计量检定规程中的技术要求时，在等量测量的情况下，这一分量可以忽略不计。由于本例为用 F_1 等级的200mg 砝码检定 F_2 等级200mg 砝码，因而灵敏度引入的不确定度 u_s 忽略不计。

(3) 分辨力引入的不确定度分量 u_d

由于BT25S 电子天平是数字式衡量仪器根据2006 年砝码规程附录C 不确定度计算 (C.4.3)，则分辨力引入的不确定度分量为：

$$\mu_d = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}} \right) \times \sqrt{2} = 0.0041\text{mg} \quad (4)$$

由于标准砝码和被检砝码读数的不确定因素，需采用数值 $\sqrt{2}$ 。

(4) 由偏载引入的不确定度分量 u_E

根据JJG1036-2008 电子天平检定规程，BT25S 电子天平偏载测试的最大允许误差为0.1mg，测量过程中砝码偏离秤盘的中心位置的极限值为1/3，根据2006年砝码规程附录C 不确定度计算（C.4.4.1），则偏载引入的不确定度分量为：

$$u_{ba} = \sqrt{u_p^2 + u_d^2 + u_E^2} = \sqrt{(0.0047\text{mg})^2 + (0.0041\text{mg})^2 + (0.0096\text{mg})^2} = 0.011\text{mg} \quad (6)$$

由于BT25S 电子天平的合成不确定度为0.011mg，小于被检砝码质量允差0.20mg 的1/9，所以BT25S 电子天平适用于开展200mgF₂ 等级砝码的检定。

5 检定前的准备

(1) 砝码表面粗糙度检查

根据JJG 99-2006 中6.6，目测被检砝码的表面粗糙度，如有否严重划伤、腐蚀、锈蚀、镀层脱落等现象。经检查未发现此类现象。

(2) 检定室条件的确认

由于被检对象是F₂ 等级的砝码，根据JJG 99-2006 规程第7.2.1 条，可知所需的环境为：

温度：18℃ ~ 23℃ 温度波动：3.5℃/4h

湿度：30% ~ 70% 湿度波动：15%/4h

由于检定砝码时所使用的天平是电子天平，根据JJG1036-2008 规程第7.1.2.1 可知所需的环境为：

温度：室温 温度波动：<1℃

湿度：不大于80%

所以最后选择的检定环境条件为：

温度：18℃ ~ 23℃ 温度波动：<1℃

湿度：30% ~ 70% 湿度波动：15%/4h 即按严格要求选择。

6 砝码折算质量的测试

见上述规格的ABBA 砝码检定记录

6.1 衡量仪器平衡位置确认

数字式衡量仪器：稳定点读数的算术平均值；

注：当使用精度较高的电子天平或质量比较仪进

$$U_E = \frac{d_1 \times D}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{3} \times 0.1\text{mg}}{2 \times \sqrt{3}} = 0.0096\text{mg} \quad (5)$$

由于在检定过程中采用电子天平作为衡量仪器，因此可忽略砝码交换检定带来的不确定度，同时由于标准砝码与被检砝码经检定其磁性满足JJG99-2006《砝码》检定规程的要求，亦可忽略磁性引起的不确定度。

(5) BT25S 电子天平的合成不确定度 u_{ba}

行砝码检定时，应注意保证每次读数应有相同的稳定时间。

6.2 检定结果的计算

设经BS-224S 电子天平比较后，取得有关数据如下：

1) F₁ 等级100g 标准砝码的实际折算质量 $m_{cr}=100.0000\text{g}$ ，被检砝码与标准砝码的质量差为0.55mg，则被检的F₂ 等级100g 砝码的实际折算质量值如下：

$$\begin{aligned} m_{ct} &= m_{cr} + (\rho_a - \rho_0) \times (V_t - V_r) \pm \Delta I \times \frac{m_{cs}}{\Delta I_s} \pm m_{cw} \quad (7) \\ &= 100.0000\text{g} + 0.00055\text{g} \times 1 \\ &= 100.00055\text{g} \end{aligned}$$

式中： m_{ct} ——被测砝码的折算质量；

m_{cr} ——标准砝码的折算质量；

V_t ——被测砝码的体积；

V_r ——标准砝码的体积；

ρ_a ——测量时，实验室的实际空气密度；

ρ_0 ——约定的标准空气密度；

ΔI ——被测砝码与标准砝码的平衡位置的差值；

m_{cs} ——测天平分度值的标准小砝码的折算质量；

ΔI_s ——测天平分度值加放 m_r 后的平衡位置改变值；

m_{cw} ——配平砝码的折算质量值。

2) 设经BT25S 电子天平比较后, 取得有关数据如下:

F₁ 等级200mg 标准砝码的实际折算质量值 $m_{cr}=200.03\text{mg}$, 被检砝码与标准砝码的质量差为 -0.002mg , 则被检的F₂ 等级200mg 砝码的实际折算质量值为:

$$\begin{aligned} m_{ct} &= m_{cr} + (\rho_a - \rho_0) \times (V_t - V_r) \pm \Delta I \times \frac{m_{cs}}{\Delta I_s} \pm m_{cw} \\ &= 200.03\text{mg} + (-0.002)\text{mg} \times 1 \\ &= 200.028\text{mg} \end{aligned}$$

注: 用电子天平量传砝码时, 公式中 ΔI_s 通过多次测定取其算术平均值。但当进行多次测定后, 会发现 $\frac{m_{cs}}{\Delta I_s}$ 的值基本为1

根据JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》第5.3.8.3条, 被检砝码检定结果的有效位数按其相应准确度等级的扩展不确定度的有效位数保留。

100gF₂ 等级砝码的扩展不确定度为0.5mg, 因而检定结果被检砝码的实际折算质量 $m_{ct}=100.0006\text{g}$,

修正值 $mc_{ct}=+0.6\text{mg}$ 。

200mgF₂ 等级砝码的扩展不确定度为0.06mg, 因而检定结果被检砝码的实际折算质量 $m_{ct}=200.03\text{mg}$, 修正值 $mc_{ct}=+0.03\text{mg}$ 。

7 结束语

本文依据标准比对的流程, 对砝码比对所涉及到的检定项目、选用标准和衡量仪器的选择以及检测的方法进行举例分析, 目的是确保标准比对测量结果的量值一致程度, 确定该实验室的测量结果是否在规定的范围内, 从而判定该实验室量值传递的准确性。

参考文献:

- [1] JJG1036-2008《电子天平》.
- [2] JJG99-2006《砝码》.
- [3] JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》.

作者简介: 丁诚, 男, 工程师。福建省福清市计量检测所。