

M₁ 等级砝码的不确定度评定及其结果的验证

Uncertainty Evaluation of M₁ Grade Weight and Verification of Its Results

章剑 王静

Jian Zhang Jing Wang

内蒙古自治区计量测试研究院 中国·内蒙古 呼和浩特 010050

Measurement and Testing Research Institute of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot, Inner Mongolia, 010050, China

摘要: 计量标准处于量值传递溯源体系的中间环节, 对于保障国家计量单位制的统一和量值传递的一致性、准确性起着十分重要的作用。然而, 不确定度的评定及其结果的验证, 在一个标准的设立中有着举足轻重的作用。论文以 F₂ 等级砝码标准装置的设立中以 50kg 为例对 M₁ 等级砝码的不确定度进行了计算, 并对其结果进行了验证。

Abstract: Measurement standards are in the middle of the traceability system of quantity value transmission, and play a very important role in ensuring the unity of the national system of units of measurement and the consistency and accuracy of quantity value transmission. However, the evaluation of uncertainty and the verification of its results play an important role in the establishment of a standard. In this paper, the uncertainty of M₁ grade weight is calculated by taking 50kg as an example in the establishment of F₂ grade weight standard device, and the results are verified.

关键词: M₁ 等级砝码; 标准不确定度评定; 单次替代称量 ABA 比较法

Keywords: M₁ grade weight; evaluation of standard uncertainty; single alternative weighing ABA comparison method

DOI: 10.12346/emr.v3i5.4289

1 引言

在力学计量工作中, 质量计量占据着重要的地位, 而砝码则是质量计量中的重要载体。在社会经济发展中, 只有保障了质量计量的量值传递工作, 流量计量、压力计量等多种计量工作的准确性才可以得到保障。

随着中国内蒙古自治区地方经济的迅猛发展, 为了更好地服务于自治区的经济建设, 同时内蒙古自治区计量测试研究院作为内蒙古自治区最高的计量技术机构, 担负着内蒙古自治区的量值传递工作。因此, F₂ 等级砝码标准装置的设立与已有的 E₁、E₂ 等级砝码标准装置一起构成完整的质量量值传递体系。

2 测量过程

2.1 测量依据

M₁ 等级砝码的测量根据 JJG99—2006《砝码》检定规程采用比较法 (ABA), 以 50kg 砝码为例由 1 人检定一次即可^[1]。

2.2 测量方法

采用单次替代称量 ABA 比较法, 将被测砝码用质量比较仪与相同标称值的标准砝码比较, 得到被测砝码与标准砝

码的差值 d, 由标准砝码的折算质量值 m 加上差值 d 得到被测砝码的折算质量值 m。

2.3 测量设备

选用 50kg F₂ 等级砝码作为主要标准器, 以及测量范围为 (0~64) kg, 规格型号为 CCE60K2 的质量比较仪作为计量标准器及主要配套设备。

2.4 环境条件

温度: 18℃~23℃, 变化量不大于 5℃/4h。

相对湿度: 45%~60%, 变化量不大于 10%/4h。

3 测量模型

3.1 数学模型

被检砝码折算质量 m_{ct} 的计算公式为:

$$m_{ct} = m_{cr} + \Delta m$$

式中: m_{ct} ——被检砝码折算质量值; m_{cr} ——标准砝码的折算质量值; Δm ——标准砝码与被检砝码的差值^[2]。

3.2 折算质量

被检砝码的折算质量由质量比较仪的灵敏度、分辨力的影响, 以及空气浮力对测量结果的影响, 因此被检砝码的折

【作者简介】章剑 (1990-), 男, 中国山西朔州人, 硕士, 工程师, 从事计量检定工作与研究。

算质量 m_{cr} 可表示为:

$$u_{ct}^2 = u^2(m_{cr}) + u^2(m_w) + u^2(m_s) + u^2(m_d) + u^2(m_b)$$

式中: m_{ct} ——被检砝码折算质量值; m_{cr} ——标准砝码的折算质量值; m_w ——测量过程引入的不确定度分量; m_s ——由质量比较仪灵敏度引入的标准不确定度分量; m_d ——由质量比较仪分辨力引入的标准不确定度分量; m_b ——空气浮力引入的标准不确定度分量。

4 标准不确定度分量

根据给出的数学模型, 本次测量的不确定度分量共有五个, 分别为:

- ①由标准砝码折算质量引入的标准不确定度 $u(m_{cr})$;
- ②由测量过程中质量比较仪的重复性引入的标准不确定度 $u(m_w)$;
- ③由质量比较仪的灵敏度引起的标准不确定度 $u(m_s)$;
- ④由质量比较仪的显示分辨力引入的标准不确定度 $u(m_d)$;

⑤对于 M_1 等级砝码而言由空气浮力修正引起的不确定度可忽略不计。

以上各类标准不确定度分量所对应的灵敏系数均等于 1。

4.1 标准砝码引入的不确定度分量 $u(m_{cr})$

F_2 等级标准砝码的不确定度分量, 按照检定规程规定, 其测量扩展不确定度不大于最大允许误差 MPE 的 1/3, 包含因子 $k=2$ 。于是, 可得知:

$$u(m_{cr}) = c \cdot u(m_{cr}) = \frac{MPE}{2 \times 3} = \frac{MPE}{6} \text{ mg}$$

4.2 测量过程引入的不确定度分量 $u(m_w)$

根据对标准砝码和被检砝码质量差的重复性测量, 实际检定时采用单次替代称量法 (ABA), 由一人检定, 使用型号为 CCE60K2 的质量比较仪, 分辨力 d 为 0.01, 测量载荷为 50kg, 重复测量 10 次, 利用公式:

$$\begin{aligned} u_s &= c_2 u(\overline{\Delta m}) \\ &= s \\ &= 0.007 \text{ mg} \end{aligned}$$

4.3 比较仪的灵敏度引入的不确定度分量 $u(m_s)$

根据规程可得知:

$$u(m_s) = c_3 u(m_s) = \sqrt{\left(\frac{u^2(m_s)}{m_s^2} + \frac{u^2(\Delta I_s)}{\Delta I_s^2}\right)}$$

检定质量比较仪时所用灵敏度砝码是 F_2 等级砝码, 其质量不确定度 u_{ms} 的平方与其质量的平方之比相对于后项非常小, 可略不计。灵敏度砝码的大小一般为 100d, 所以 $\Delta I_s \approx 100d$, 根据实验 $u(\Delta I_s)$ 一般最大不会超过 0.7d, 因此可得:

$$u(m_s) = c_3 u(m_s) = 0.007 \times \Delta m_c$$

为了便于评定, Δm_c 取 F_2 、 M_1 等级同一标称值砝码的允许误差之和, 此为 Δm_c 的最大值。

4.4 比较仪的分辨力引入的不确定度分量 $u(m_d)$

比较仪显示分辨力引起的不确定度为:

$$u_d(m_d) = c_4 u(m_d) = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}}\right) \times \sqrt{2} = 0.4d$$

4.5 空气浮力引入的不确定度分量 $u(m_b)$

对于 M_1 等级砝码而言由空气浮力修正引起的不确定度可忽略。

5 标准不确定度分量汇总

根据以上各项标准不确定度分量的计量, 将 5 个标准不确定度计算汇总如表 1 所示。

表 1 标准不确定度分量汇总

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$ (g)	灵敏系数 c_i	$ c_i \times u(x_i)$ (g)
$u(m_{cr})$	标准砝码折算质量	$\frac{MPE}{6}$	1	$\frac{MPE}{6}$
$u(m_w)$	重复性	s	1	s
$u(m_s)$	比较仪的灵敏度	$0.007 \times \Delta m_c$	1	$0.007 \times \Delta m_c$
$u(m_d)$	比较仪的分辨力	0.4d	1	0.4d
$u(m_b)$	空气浮力	0	1	0

6 合成标准不确定度

$$\begin{aligned} u_{ct}^2 &= u^2(m_{cr}) + u^2(m_w) + u^2(m_s) + u^2(m_d) + u^2(m_b) \\ u_{ct} &= \sqrt{u^2(m_{cr}) + u^2(m_w) + u^2(m_s) + u^2(m_d) + u^2(m_b)} \\ &= \sqrt{\left(\frac{MPE}{6}\right)^2 + s^2 + (0.007 \times \Delta m_c)^2 + (0.4d)^2 + 0} \\ &= 0.14 \text{ g} \end{aligned}$$

7 扩展不确定度

取 $k=2$, 得到扩展不确定度 U , 如下:

$$U = k \times u_{ct} = 0.28 \text{ g}, (k=2)$$

8 M_1 等级砝码折算质量测量结果扩展不确定度

同理通过以上计算方法可以得到 M_1 等级其他标称值的扩展不确定度, 如表 2 所示。

表 2 M₁ 等级其他标称值的扩展不确定度

砝码标称值 (g)	分度值 (mg)	F ₂ 允差	M ₁ 允差	$u(m_{cr})$	$u(m_w)$	$u(m_s)$	$u(m_d)$	$u(m_b)$	u_{ct}	$U(k=2)$
1	0.01	0.06	0.20	0.010	0.006	0.002	0.004	0	0.012	0.02
2	0.01	0.06	0.20	0.010	0.006	0.002	0.004	0	0.012	0.02
5	0.01	0.06	0.20	0.010	0.006	0.002	0.004	0	0.012	0.02
10	0.01	0.08	0.25	0.013	0.006	0.002	0.004	0	0.015	0.03
20	0.01	0.10	0.3	0.017	0.006	0.003	0.004	0	0.018	0.04
50	0.01	0.12	0.4	0.020	0.006	0.004	0.004	0	0.022	0.04
100	0.01	0.16	0.5	0.027	0.006	0.005	0.004	0	0.028	0.06
200	0.01	0.20	0.6	0.033	0.006	0.006	0.004	0	0.035	0.07
500	0.01	0.25	0.8	0.042	0.006	0.007	0.004	0	0.043	0.09
砝码标称值 (g)	分度值 (mg)	F ₂ 允差	M ₁ 允差	$u(m_{cr})$	$u(m_w)$	$u(m_s)$	$u(m_d)$	$u(m_b)$	u_{ct}	$U(k=2)$
1	0.01	0.3	1.0	0.050	0.006	0.009	0.004	0	0.051	0.1
2	0.01	0.4	1.2	0.067	0.006	0.011	0.004	0	0.068	0.1
5	0.01	0.5	1.6	0.083	0.006	0.015	0.004	0	0.085	0.2
10	0.01	0.6	2.0	0.100	0.006	0.018	0.004	0	0.102	0.2
20	0.01	0.8	2.5	0.133	0.006	0.023	0.004	0	0.136	0.3
50	0.01	1.0	3.0	0.167	0.006	0.028	0.004	0	0.169	0.3
100	0.01	1.6	5.0	0.267	0.006	0.046	0.004	0	0.271	0.5
200	0.01	3.0	10	0.500	0.006	0.091	0.004	0	0.508	1.0
500	1	8.0	25	1.333	0.48	0.231	0.4	0	1.490	3.0
砝码标称值 (kg)	分度值 (mg)	F ₂ 允差	M ₁ 允差	$u(m_{cr})$	$u(m_w)$	$u(m_s)$	$u(m_d)$	$u(m_b)$	u_{ct}	$U(k=2)$
1	1	16	50	2.667	0.48	0.462	0.4	0	2.778	6
2	1	30	100	5.000	0.48	0.910	0.4	0	5.120	10
5	1	80	250	13.333	0.71	2.310	0.4	0	13.556	27
10	100	160	500	26.667	0.08	4.620	40	0	48.296	97
20	100	300	1000	50.000	0.08	9.100	40	0	64.675	129
50	10	800	2500	133.333	0.007	23.100	4	0	135.379	271

注：表中除标注外其他单位均为 mg。

9 测量结果的验证

采用更高等级砝码标准装置验证结果如下：

50kg: $y_0=50000.01g$, $U_0=0.08g$

以本套装置测量测得结果如下：

50kg: $y=50000.02g$, $U=0.28g$

对于 50kg:

$$|y - y_0| = 0.01g \leq \sqrt{U^2 + U_0^2} = 0.29g$$

因此，不确定评定结果成立。

10 结语

M₁ 等级砝码的测量结果及扩展不确定度得以验证。经重复性测量、稳定性考核、结果的测量不确定度评定以及检定或校准结果的验证，证明满足 JJG 99—2006《砝码》

检定规程的要求，可以开展 1mg~50kgM₁ 等级及以下砝码的量传^[3]。

砝码作为质量量值的载体，在质量精密测量中，F₂ 等级标准砝码属于等级较高的砝码，在外界环境因素的影响下容易产生误差，因此对它的计量控制，关系到量值传递的准确性。

论文通过对影响 M₁ 等级砝码测量的各项标准不确定度分量进行了分析及评定，取得了满意的结果。

参考文献

- [1] JJG 99—2006 砝码[S].北京:中国计量出版社,2007.
- [2] 倪育才.实用测量不确定度评定[M].3版.北京:中国计量出版社,2009.
- [3] JJF 1033—2016 《计量标准考核规范》实施指南[M].北京:中国质检出版社,2017.