

20 kg M1 等级砝码测量结果不确定度评定

□王丰茂

营口市计量检定测试所

【摘 要】本文以20kg M1 等级砝码为研究对象，依据JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》、JJG 99—2022《砝码检定规程》，查找出20kg M1 等级砝码在检定以及使用过程中的主要不确定度来源；通过规范的实验设计模型、选取JJG 99—2022《砝码检定规程》适配标准器具，完成A 类、B 类不确定度分量的量化计算、合成与扩展评定；最终计算得出20kg M1 等级砝码的测量不确定度评定结果，为砝码的检定校准、量值传递以及日常维护提供实操参考，保障后续衡器测量结果的可靠性。

【关键词】JJG 99—2022；砝码；M1 等级；不确定度；分析评定

文献标识码：A

文章编号：1003-1870（2026）04-0036-03

Evaluation of Measurement Uncertainty for 20 kg Class-M1 Weights

【Abstract】This paper focuses on 20 kg class-M1 weights. In accordance with verification regulations of JJF 1059.1—2012 Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurement and JJG 99—2022 Weights, it identifies the main sources of uncertainty for 20 kg class-M1 weights during verification and use; it employs a standardized experimental design model and selects appropriate reference standards as specified in JJG 99—2022 to perform quantitative evaluation, combination, and expansion of type-A and type-B uncertainty components; it ultimately yields the result of measurement uncertainty evaluation for the 20 kg class-M1 weight, providing practical reference for the verification, calibration, value dissemination, and routine maintenance of weights, thereby ensuring the reliability of subsequent measurement results of weighing instrument.

【Keywords】JJG 99—2022; weight; class M1; uncertainty; analysis and evaluation

1 概述

1.1 测量依据：JJG 99—2022《砝码检定规程》。

1.2 测量条件：实验室温度为22℃，相对湿度54%。

1.3 测量标准：20kg 的F2 等级砝码，最大允许误差 $\pm 300\text{mg}$ 。

1.4 被测对象：20kg 的M1 等级砝码，最大允许误差 $\pm 1000\text{mg}$ 。

1.5 测量用天平：TG406 机械天平，准确度等级①4 级，分度值100mg。

1.6 测量过程：采用单次替代衡量法，具体做法：标准砝码B 放在天平任一盘，配衡物T 放在另一盘，开启天平计算其平衡位置 L_B ，若发现天平横梁倾角太大无法读数时，则在较轻的盘中放上标准小砝码 w 使其平衡；取下标准砝码B，放上标称值相同的被检砝码A，计算平衡位置 L_A ；将被检砝码A 拿下，再放上标准砝码B，计算平衡位置 L_B ；把测分度值的

小砝码 r 放在标准砝码所在的天平秤盘上,计算平衡位置 L_B ;重复以上操作若干次,计算标准砝码与被测砝码的质量差值,将质量差值的算数平均值加上标准砝码质量值作为被测砝码质量值。

2 数学模型

根据检定规程中,在实际测量20kg的砝码时,空气浮力可以忽略不计,测量砝码质量的测量模型为:

$$m=m_s+d$$

式中: m ——M1 等级砝码的质量值;

m_s ——F2 等级标准砝码的质量值;

d ——被测砝码与标准砝码的差值。

3 输入量的标准不确定度

以测量千克组砝码20kg 为例。

3.1 输入量 m_s 的标准不确定度 $u(m_s)$ 的评定

输入量 m_s 的标准不确定度采用B 类方法进行评定。

$u(m_s)$ 的评定(以20kg 砝码为例)

根据JJG99—2022 中给出的F2 等级标准砝码20kg 的扩展不确定度不大于(300/3) mg,包含因子 $k=2$,

$$\text{故标准不确定度 } u(m_s) = \frac{100}{2} = 50\text{mg}$$

3.2 输入量 d 的标准不确定度 $u(d)$ 的评定

$u(d)$ 由2 个标准不确定度分量构成。

3.2.1 天平测量重复性引起的标准不确定度分量 $u(d_1)$

可以通过连续测量得到测量列,采用A 类方法进行评定。

以20kg 砝码为例,本试验在TG406 天平上,在重复性条件下连续测量20kg 砝码10 次,得到如下测量列
19999.887g, 19999.9901g, 19999.893g, 19999.900g,
19999.985g, 19999.866g, 19999.894g, 19999.893g,
19999.889g, 19999.872g。

计算得出: $\bar{x}=19999.898\text{g}$

$$\text{单次试验标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 32.6\text{mg}$$

用同一砝码在不同时间,各在重复性条件下连续测量10 次,共得到6 组测量列,每组测量列分别按上述方法计算得到单次试验标准差如表1 所示。

表1 m组试验标准差计算结果

称量(kg)	20	20	20	20	20	20
试验标准差 s_j (mg)	s_1 32.4	s_2 33.1	s_3 31.6	s_4 32.7	s_5 32.4	s_6 31.8

$$\text{合并样本标准差 } s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} = 32.3\text{mg}$$

实际情况下,以两次测量值的算术平均值为测量结果,可得到:

$$u(d_1) = s(d_1) = \frac{s_p}{\sqrt{2}} = 22.9 \text{ mg}$$

3.2.2 天平的灵敏度引入的标准不确定度分量 $u(d_2)$

在测20kg 砝码时,在TG406 天平上测实际分度值使用F2 等级500mg 小砝码,由检定规程得知,F2 等级500mg 标准小砝码质量的最大允许误差为0.25mg,误差取其半宽,包含因子取 $k=2$,故500mg 标准小砝码不确定度为:

$$u(d_m) = \frac{0.25}{2 \times 3} = 0.04\text{mg}$$

灵敏度砝码引入天平的变化量为 $\Delta I_p=5.0$ 分度,其误差为 ± 0.1 分度,服从均匀分布,包含因子 $k= \sqrt{3}$,故: $u(\Delta I_p)=0.2/ \sqrt{3}=0.12$ 分度

因此,由灵敏度引入的标准不确定度为:

$$u(d_2) = \sqrt{x^2 \left[\frac{u^2(d_m)}{d_m^2} + \frac{u^2(\Delta I_p)}{\Delta I_p^2} \right]} = 0.2\text{mg}$$

3.2.3 测天平分度值的标准小砝码引起的标准不确定度分量 $u(d_3)$

在测天平实际分度值时,使用100mg 标准小砝码,据检定规程给出的最大允许误差为0.16mg,扩展不确定度 $U \leq 1/3 |MPE| = 0.05\text{mg}$,包含因子取 $k=2$,

则由标准小砝码引入的不确定度：

$$u(d_3)=0.05/2=0.025\text{mg}$$

3.2.4 为使天平平衡而添加的标准小砝码引入的标准不确定度 $u(d_4)$

在测20kg砝码时，为使天平平衡需添加200mg的标准小砝码，据检定规程给出的最大允许误差为0.20mg，扩展不确定度 $U \leq 1/3 |MPE| = 0.07\text{mg}$ ，包含因子取 $k=2$ ，则由标准小砝码引入的不确定度：

$$u(d_4)=0.07/2=0.035\text{mg}$$

3.3 标准不确定度 $u(d)$ 的计算

$$u^2(d) = u^2(d_1) + u^2(d_2) + u^2(d_3) + u^2(d_4)$$

$$u(d) = \sqrt{22.9^2 + 0.2^2 + 0.025^2 + 0.035^2} = 23\text{mg}$$

4 合成标准不确定度的评定

4.1 灵敏系数

数学模型 $m = m_s + d$

灵敏系数 $c_1 = \frac{\partial m}{\partial m_s} = 1$

$$c_2 = \frac{\partial m}{\partial d} = 1$$

4.2 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总见表2。

表2 标准不确定度汇总表 (20kg砝码)

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
$u(m_s)$	标准砝码	50mg
$u(d_1)$	天平测量重复性	22.9 mg
$u(d_2)$	天平的灵敏度	0.2mg
$u(d_3)$	测量天平分度值标准小砝码	0.025mg
$u(d_4)$	天平平衡添加的标准小砝码	0.035mg

4.3 合成标准不确定度的计算

输入量 m_s 与 d 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式得到。

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

20kg 砝码：

$$u_c(m) = \sqrt{50^2 + 23^2} = 55\text{mg}$$

5 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 U 为：

$$U = k \cdot u_c(m) = 2 \times 55 = 110\text{mg}$$

6 测量不确定度的报告与表示

M1 等级20kg 砝码质量值测量值的扩展不确定度为：

$$m = 20\text{kg}, U = 110\text{mg}, k=2$$

7 结语

测量值的可用性，很大程度上取决于其不确定度的大小。实际工作中影响测量不确定度的评定因素是多方面的，对测量不确定度进行正确的理解，并能对影响因素进行适当分析和取舍，才能对不确定度进行合理的评定和运用。

参考文献

[1] JJF 1059.1-2012，测量不确定度评定与表示[S].

[2] JJG 99-2022，砝码检定规程[S].

作者简介

王丰茂，辽宁省营口市，工程师，二级注册计量师，从事衡器检定工作25年。现就职于营口市计量检定测试所，负责大中小型衡器的检定工作。