

浅谈砝码的测量不确定度评定

□唐山市丰润区质量技术监督检验所 李福东

【摘要】不确定度评定是计量检验检定部门考核验收的重要环节，本文通过一些具体的实例，阐述了在测量不确定度评定过程中遇到的一些问题，诠释了什么是不确定度，不确定度的来源。用通俗易懂的语言阐述了产生不确定的一些因素，并用实际试验讲解了我们如何进行计量标准的测量不确定度评定。

【关键词】不确定度；评定砝码标准

文献标识码：B

文章编号：1003-1870（2023）09-0022-03

引言

测量不确定度评定在我们计量检定工作中是一项非常重要的工作，它是计量标准考核工作中必不可少的重要一环。因此，作为计量检定人员，深入了解和掌握不确定度以及不确定度的评定是非常有必要的事情。但是，很多同志特别是年纪稍微大一点的同志对于不确定度是很陌生的，处理这类问题感到非常头疼，他们根据书面的定义公式，很难理解测量不确定度的实际意义，更别说不确定度的评定工作了。因此，很有必要对测量不确定度以及计量器具测量不确定度的评定进行一些简单的解释和说明。

简单说一下什么是测量不确定度。测量不确定度的定义是：“表征合理地赋予被测量之值的分散性，与测量结果相联系的参数。”在这里说的“合理”，指的是我们测量的过程是在受控的状态下进行的测量，它不是一个随便的过程，是在有效的环境条件下，测量设备是能够正常工作的，在有效的检定周期内，具有相应资质的检验检测人员正规操作等一系列有效条件的控制下的测量过程。这里的“分散性”是指测量结果存在于某一个区域，它们之间不一致的程度。而不确定度是指不确定性的程度，换句话说就是测量结果的可信程度。不确定度

越大，测量结果的可信程度越小；不确定度越小，测量结果的可信程度越大。

例如：我们说一个砝码重200g，我们对其测量得出的结果是200.05g，200.05g是我们相对于这个砝码的测量结果。但是这个“200.05g”是不是这根铅笔的真实质量呢？我们都知道，所有的测量行为都有测量误差，测量误差来源于很多方面，包括人员、设备、环境等一系列的因素，都会影响测量结果的。因此，“200.05g”并不是这砝码的实际质量，它只是一个相对于真实值的近似值。那么，如何表征这个砝码的真实值呢？于是我们就引入了不确定度这一概念，通过一系列的测量与计算，我们得出一组数据：这个砝码的质量可以表示为： $(200.1g \pm 0.05g, \text{置信概率为}95\%)$

即该砝码质量在200.05~200.15g之间，有95%的把握。就是把该砝码的真实值的存在区间给了我们，并且把可信程度也告诉了我们。也就是说，这个砝码的真实质量有95%的把握在200.05~200.15g之间，这样就有了一个非常接近真值的结果。而上面的表示就是用不确定度来表示的砝码的测量结果。那么，问题就来了，我们如何得到上面的数据呢？

这就涉及了测量结果的不确定度评定，我们对被测量进行不确定度评定，就会得到相应的结果。

测量不确定度的评定是指在有效的测量环境下，由有资质的测量人员，使用有效的测量仪器对被测量进行一系列的合理测量，从而得出在一定置信概率的前提下该被测量真实值存在区间的一组活动。我们想得到某一被测量的不确定度，首先要知道不确定度的来源。

我们说所有参与到测量过程中的因素都影响测量结果，因此，不确定度的来源也就来自参与测量过程的因素。那么，参与测量过程的因素都有哪些呢？

(1) 参与测量的人员会影响测量不确定度。比如测量人员用分度值为1mm的直尺测量一个物体的长度，那么读数会读到毫米一下，比如说是12.4mm。那么，此时的0.4就是一个估计读数。有的人也许会读作12.5mm，有的人也许会读作12.3mm，甚至12.2mm、12.6mm等等。虽然，我们读数都有规定的要求，但是，按照规定的要求读数每个人的读数习惯是不一样的，在同等条件下，有的人习惯偏多一点，有的人就习惯偏少一点，每个人的读数习惯不同，就会直接影响到测量结果。测量结果即使在误差允许的范围内，但是具体数值不一定相同。因此，我们要充分考虑参与测量人员的因素。

(2) 测量设备会影响到不确定度。我们所说的测量设备是指测量仪器、测量标准、参考物质、辅助设备，以及进行测量所必需的资料总称。测量仪器的分辨力，标准物质的误差，辅助设备的稳定性等等。这些都是我们要考虑的影响因素。比如我们用一台分度值为1mg的电子天平作为测量仪器测量被检砝码的质量，当砝码实际质量为199.9995 ~ 200.0004g时，电子天平的显示值是200.000g。因此，无论砝码的实际质量是199.9995g还是200.0001g，它都显示200.000，这就增加了不确定度的因素。

(3) 测量方法会影响到不确定度。比如我们知道，要想知道一个被测量的实际值，理论上是要经过无数次测量，然后取其平均值方才可以得到。但是，实际情况这种测量是永远也办不到的，只好用

有限次的测量求它的近似值。测量次数的不同，其算数平均值就不同。它们之间存在着差异，这就引入了不确定度。

(4) 被测量会引入不确定度。比如我们测量一个标称值1000gF₂等级的砝码，从检定证书上查到它的修正误差是15mg，但是再一次测量，由于长时间环境和温度的变化，它的实际质量会发生一些变化，再次测得的修正误差就不一定是15mg了。因为，随着温度的变化砝码本身的体积会产生变化，随着空气湿度的变化，砝码的质量也会变化，虽然细微，但是会给测量带来不确定度。

(5) 测量环境会引入不确定度。影响实验室的条件有很多，比如环境温度、湿度、大气压强、污染、震动、供电电源、电磁干扰、噪声等等。环境条件的改变，直接影响到测量结果。某些测量仪器的稳定性受温度的影响很大，而某些测量仪器受震动的影响很大。

下面，我们就根据F₂等级砝码的测量不确定度评定过程，来进一步了解不确定度评定。

1 概述

1.1 确定测量依据：JJG99-2022《砝码检定规程》。

1.2 确定检定地点和环境：应该在有资质的实验室，并且保证实验室温度在18 ~ 23℃，相对湿度不大于70%。

1.3 选择被测对象：M₁等级的标准砝码 [测量范围:1mg到20kg, 扩展不确定度不大于(0.2 ~ 1000) /3 mg, 包含因子k=2] 作为此次不确定度评定的被测量对象，并且提前24小时放入符合测量条件的实验室当中。

1.4 确定测量标准：F₂等级标准砝码。测量范围1mg到10kg, 由JJG99-2022《砝码检定规程》给出其扩展不确定度不大于(0.02 ~ 160) /3mg, 包含因子k=2。

1.5 确定测量方法：采用天平单次替代称量法测量。将电子天平提前调平预热，使之达到工作要求，稳定后在天平托盘正中心放标准砝码，置零，

取下标准砝码，放置被测砝码，然后记录砝码差值。

2 建立数学模型

$$\Delta m = m_a - m_b$$

式中：

m_a —— M_1 等级被检砝码约定质量值；

m_b —— F_2 等级标准砝码约定质量值；

Δm ——被检砝码与标准砝码的质量差。

3 不确定度评估

3.1 测量过程的标准不确定度 (A 类)

选取 F_2 等级 200g 砝码等精度测量 M_1 等级 200g 砝码，共进行 4 组测量，均在受控状态下，每组测量 10 次，得到数据如下：第一组（单位：mg）5.6, 5.4, 5.2, 5.2, 4.8, 4.9, 5.6, 5.3, 5.5, 5.4；第二组（单位：mg）5.7, 5.4, 5.2, 5.5, 5.6, 4.8, 4.7, 4.8, 5.4, 4.5；第三组（单位：mg）5.6, 5.5, 5.5, 5.5, 5.6, 5.6, 5.5, 5.6, 5.8, 5.7；第四组（单位：mg）5.5, 5.4, 5.8, 5.1, 5.2, 5.7, 5.8, 5.6, 5.2, 5.1。分别求出每组数据的实验标准偏差：

$$S_1(\Delta m_1) = \frac{\max(\Delta m_1) - \min(\Delta m_1)}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{5.6 - 4.8}{2 \times \sqrt{3}} = 0.23 \text{ (mg)}$$

$$S_2(\Delta m_2) = \frac{\max(\Delta m_2) - \min(\Delta m_2)}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{5.7 - 4.5}{2 \times \sqrt{3}} = 0.35 \text{ (mg)}$$

$$S_3(\Delta m_3) = \frac{\max(\Delta m_3) - \min(\Delta m_3)}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{5.8 - 5.5}{2 \times \sqrt{3}} = 0.09 \text{ (mg)}$$

$$S_4(\Delta m_4) = \frac{\max(\Delta m_4) - \min(\Delta m_4)}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{5.8 - 5.1}{2 \times \sqrt{3}} = 0.20 \text{ (mg)}$$

$$u_w(\bar{\Delta m}) = \sqrt{\frac{\sum s_i(\Delta m)}{n}} = \sqrt{\frac{0.23^2 + 0.35^2 + 0.09^2 + 0.20^2}{4}} = 0.25 \text{ (mg)}$$

3.2 F_2 等级标准砝码的不确定度 $u(m_r)$ (B 类)

标准砝码质量的不稳定性引起的不确定度根据近 4 年的检定之后的质量变化估计为：

$$u_{\text{inst}}(m_{cr}) = \frac{[\max(m_{cr}) - \min(m_{cr})]}{c_n} = \frac{0.8 - 0.5}{2.06} = 0.15 \text{ (mg)}$$

标准砝码(200g F_2 等级)的不确定度 $u(m_c)$ 计算：

$$U(m_r) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{\text{inst}}^2(m_c)}$$

取 $k=2$, $U = \frac{1}{3} \times |\text{MPE}| = \frac{1}{3} \times 3.0 = 1.0 \text{ (mg)}$

$$U(m_c) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{\text{inst}}^2(m_c)} = \sqrt{\frac{1.0^2}{2} + 0.15^2} = 0.52 \text{ (mg)}$$

3.3 由于电子天平($d=0.1\text{mg}$)显示分辨力而引起的标准不确定度

$$u_d = \left(\frac{d}{\sqrt{3}}\right) \times \sqrt{2} = \left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right) \times \sqrt{2} = 0.04 \text{ (mg)}$$

各不确定度分量汇总及计算表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (mg)
$u(\bar{\Delta m})$	测量过程	0.25
$u(m_r)$	标准砝码	0.52
u_d	衡量仪器	0.04

4 被检砝码约定质量值的合成标准不确定度

$$(m_{ct}) = \sqrt{u(\bar{\Delta m})^2 + u(m_r)^2 + u_d^2} = \sqrt{0.25^2 + 0.52^2 + 0.04^2} = 0.58 \text{ (mg)}$$

5 被检砝码折算质量值的扩展不确定度

取置信概率 $p=95\%$ ，查 t 分布表得 $k=1.96$ ，通常取 $k=2$ 。

$$U = k u_c(m_{ct})$$

扩展不确定度 $U = 2 \times 0.58 = 1.16 \text{ (mg)}$

6 测量不确定度报告

测量结果扩展不确定度为：

$$U_{95} = 1.16 \text{ mg}$$

作者简介

李福东，男，汉族，河北省唐山市丰润区人，现工作于唐山市丰润区质量技术监督检验所。