

电子吊秤示值误差测量结果不确定度评定

□胡赛赛 章成 唐超

马鞍山市计量测试研究所

【摘要】电子吊秤是对处于自由悬吊状态下的被称物品进行称量的装有电子装置的衡器，以确保称量时处于自由状态，且传感器与被称物处于串联状态。本文围绕电子吊秤示值误差测量结果不确定度展开，重点探讨了承载器旋转效应对测量结果的影响。通过对不同旋转角度下示值变化的分析，评估了该因素引入的不确定度分量，为电子吊秤的校准及测量结果不确定度的评定提供技术参考^[1-4]。

【关键词】电子吊秤；称重传感器；承载器旋转；不确定度

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2026）03-0022-03

Evaluation of Measurement Uncertainty in Indication Error of Electronic Crane Scale

【Abstract】An electronic crane scale is a weighing instrument equipped with an electronic device for weighing objects in a freely suspended state, ensuring that the weighing is performed in a free state and that the sensor and the object being weighed are connected in series. In the process of evaluating the uncertainty of the indication error measurement result of the electronic crane scale, it is necessary to analyze all sources of measurement result uncertainty that have a significant impact on the measurement result. This paper takes the study of the standard uncertainty component introduced by the rotation of the load receptor as an innovation point, providing a technical reference for the calibration of electronic crane scales and the evaluation of measurement result uncertainty.

【Keywords】electronic crane scale; sensor; rotation; load receptor; uncertainty

引言

电子吊秤广泛用于工业现场中悬挂状态下的物料称重，以确保称量时处于自由状态，且传感器与被称物处于串联状态。同一载荷下，将秤垂直起吊后在360°范围内每旋转90°施加标准砝码，以校准旋转示值误差。

在电子吊秤校准实践中发现，人工操作——尤其是承载器旋转——会显著影响称重结果。依据JJG 539-2016《数字指示秤检定规程》，本文以一台最大称量为3t电子吊秤为例，在2400kg载荷点系统展

开不确定度评定，特别针对承载器旋转引起的的分量。该分量通过顺时针和逆时针旋转360°每90°位置记录示值，取两者中的较大差异进行计算，并绘制多角度测试数据趋势图（图1）。该评定方法在一定程度上考虑了不同旋转角度对称量示值的影响，但是对不同旋转角度称量示值之间的不一致，而引入的不确定度分量没有进行考虑及评定。本文依据相关检定规程，结合实际校准工作，提供一个针对电子吊秤示值误差测量结果不确定度评定的完整实例。

1 测量概述

测量对象：电子吊秤；准确度等级Ⅲ级；最大称量3t；分度值1kg。秤的检定分度值与实际分度值相等，即 $e=d$ 。

实验环境条件：温度：20.5℃~21.0℃，相对湿度：54.0%~56.0%。

标准砝码：M₁等级。

测量过程：选取电子吊秤最大称量80%（2400kg）作为测试载荷点，将相应质量的M₁等级标准砝码施加处于自由悬吊状态下电子吊秤上，将承载器旋转到指定角度后，计算示值误差。

2 测量模型

$$E=I-L$$

式中： E —电子吊秤示值误差，（kg）；

I —电子吊秤示值，（kg）；

L —载荷值，（kg）。

依据JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中的规定，测量模型中 I 和 L 为不相关，合成标准不确定度的计算公式为：

$$u_c(E) = \sqrt{c_1^2 u^2(I) + c_2^2 u^2(L)}$$

式中灵敏系数为：

$$c_1 = \frac{\partial E}{\partial I} = 1, c_2 = \frac{\partial E}{\partial L} = -1$$

3 不确定度主要来源^[3]

3.1 输入量 I 的标准不确定度 $u(I)$ 主要来源有：

(1) 示值重复性测量引入的标准不确定度 $u_1(I)$ 。

(2) 分辨力引入的标准不确定度 $u_2(I)$ 。

由于重复性测量中已包含被测对象分辨力对测量结果的影响，通常在重复性引入的不确定度分量和分辨力引入的不确定度分量中取两者中的较大者。

(3) 承载器旋转引入的标准不确定度 $u_3(I)$ 。

3.2 输入量 L 的标准不确定度 $u(L)$ 主要由M₁等级标准砝码质量允差引起，记为 $u(L)$ 。

4 标准不确定度的评定

4.1 示值重复性测量引入的标准不确定度 $u_1(I)$

在重复性条件下，使用2400kg的砝码对电子吊秤进行10次连续测量，采用闪变点法读取得到化整前示值，结果如表1所示。

表1 重复性测量数据

单位(kg)

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值	2400.5	2400.0	2400.1	2400.2	2400.5	2400.3	2400.5	2400.0	2400.5	2400.2

根据贝塞尔公式计算实验标准偏差，则

$$u_1 = s(I) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \approx 0.21 \text{ kg}$$

4.2 分辨力引入的标准不确定度 $u_2(I)$

被检电子吊秤的分度值 $d=1\text{kg}$ ，其分辨力区间半宽度 $a=0.5\text{kg}$ ，服从均匀分布，包含因子取 $k=\sqrt{3}$ 。由于示值采用逐个添加 $0.1d$ 的小砝码，采用闪变点法确定，则 $u_2(I) = \frac{0.5}{10\sqrt{3}} \approx 0.03\text{kg}$ 。在本实例中，重复性引入的不确定度 u_1 大于分辨力的 u_2 ，故后续计算采用 u_1 。

4.3 承载器旋转引入的标准不确定度 $u_3(I)$

(1) 将最大称量80%的标准砝码分别对电子吊秤顺时针和逆时针360°范围内每旋转90°位置进行测量，得到的化整前示值如表2所示。

表2 旋转角度及测量示值

单位：kg

角度	测量示值	
	顺时针旋转	逆时针旋转
0°	2400.2	2400.2
90°	2400.1	2400.3
180°	2400.2	2400.5
270°	2400.5	2400.5
360°	2400.9	2401.1

承载器旋转引入的不确定度为均匀分布，则取顺、逆时针中最大的误差计算。

$$u_{3(\text{顺})} = \frac{2400.9-2400.1}{2\sqrt{3}} \approx 0.23\text{kg} (\text{舍去})$$

$$u_{3(\text{逆})} = \frac{2401.1-2400.2}{2\sqrt{3}} \approx 0.26\text{kg}$$

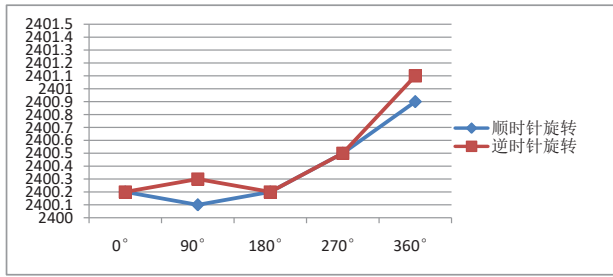


图1 角度测量数据趋势图

从图1可以看出,示值随旋转角度呈现一定的波动趋势,最大差异出现在360°位置,这可能是由于吊秤结构不对称或传感器受力不均导致的。

4.4 标准砝码质量误差引入的标准不确定度 $u(L)$

根据JJG99-2022《砝码》检定规程,选用120只20kg的M₁等级砝码的最大允许误差为 $\pm 1g$ ^[2],按均匀分布,其标准砝码引入的标准不确定度

$$u(L) = \frac{120}{1000\sqrt{3}} \approx 0.07\text{kg}$$

5 合成标准不确定度

表3 电子吊秤示值误差的不确定度分量汇总表

分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$
$u_1(I)$	示值重复性	0.21kg	1	0.21kg
$u_2(I)$	分辨力	0.03kg (舍去)	1	0.03kg
$u_3(I)$	承载器旋转	0.26kg	1	0.26kg
$u(L)$	标准砝码	0.07kg	-1	0.07kg

由于各不确定度分量互不相关,可得电子吊秤示值误差的合成标准不确定度 $u_c(E)$ 按方和根计算:

$$u_c(E) = \sqrt{[c_1u(I)]^2 + [c_2u(L)]^2} \\ = \sqrt{0.21^2 + 0.26^2 + 0.07^2} \approx 0.34\text{kg}$$

6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,则在2400kg载荷点示值误差的扩展不确定度为:

$$U(E) = k \cdot u_c(E) \approx 0.7\text{kg}, k=2$$

7 不同校准点的示值误差标准不确定度

校准范围内其他校准点的示值误差标准不确定度同样采用上述方法获得,结果汇总见表4。

表4 不确定度汇总表 单位: kg

校准点 (试验载荷)	10	20	500	2000	2400	3000
重复性 $u_1(I)$	0.21					
分辨力 $u_2(I)$	0.03					
承载器旋转 $u_3(I)$	0.00	0.00	0.12	0.23	0.26	0.26
标准砝码 $u(L)$	0.00	0.00	0.01	0.06	0.07	0.09
合成标准不确定度 $u_c(E)$	0.21	0.21	0.24	0.32	0.34	0.35
扩展不确定度 $U(E) (k=2)$	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7

8 结语

本文系统评定了电子吊秤示值误差测量结果不确定度,重点关注承载器旋转效应引入的分量。结果表明,旋转引入的不确定度分量与重复性引入的分量相当,对测量结果影响显著。本方法为电子吊秤现场校准中提供了不确定度分析依据。

参考文献

- [1] JJG 539-2016 数字指示秤检定规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [2] JJG 99-2022 砝码检定规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [3] JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
- [4] JJF 1181-2007 衡器计量名词术语及定义[S]. 北京: 中国质检出版社, 2007.

作者简介

胡赛赛,女,本科。马鞍山市计量测试研究所工程师,一级注册计量师,现从事力学、衡器及质量相关的计量检定与校准工作。