

电子叉车秤示值误差测量结果不确定度评定

□马鞍山市计量测试研究所 吴志成 杨宝华

【摘要】电子叉车秤是为装载设备在装载过程中称量装载物料的一种称重计量器具。在电子叉车秤示值误差测量结果不确定度的评定过程中，需要对测量结果有明显影响的所有测量结果不确定度来源进行分析。本文以研究承载器提升的高度引入的标准不确定度分量为创新点，为电子叉车秤的校准及测量结果不确定度的评定提供技术参考。

【关键词】电子叉车秤；承载器；载荷；高度；不确定度

文献标识码：A

文章编号：1003-1870（2025）02-0031-03

Evaluation of Uncertainty of Indication Error Measurement Results of Electronic Lift Truck Scale

Abstract: Electronic lift truck scale is a weighing and measuring instrument used for the loading equipment to weigh the loaded material during the loading process. In the process of evaluating the uncertainty of the indication error measurement result of the electronic lift truck scale, it is necessary to analyze all sources of measurement result uncertainty that have a significant impact on the measurement result. In this paper, the standard uncertainty component introduced by the lifting height of the load receptor is studied as an innovation point to provide technical reference for the calibration of the electronic lift truck scale and the evaluation of the measurement result uncertainty.

Keywords: electronic lift truck scale; load receptor; load; height; uncertainty

引言

电子叉车秤是指在液压升降搬运叉车基础上增加称重传感器和智能化数字显示仪表而组成的称重系统，是为装载设备在装载过程中称量装载物料的一种称重计量器具。电子叉车秤最常用的称量范围为0.5t ~ 3t。

目前笔者所在省份已经发布实施计量技术规范JJF（皖）156-2023《电子叉车秤校准规范》，笔者所在单位已依据该校准规范建立电子叉车秤校准装置社会公用计量标准，并开展电子叉车秤的校准工作。在电子叉车秤校准实践中发现，人工操作对称

重结果有着明显的影响，如电子叉车秤承载器提升高度对称量的示值有着明显的影响。JJF（皖）156-2023《电子叉车秤校准规范》中，电子叉车秤测量不确定度评定示例里，重复性引入的标准不确定度分量选取承载器提升到最高点和最低点时重复性数据中的较大者。该评定方法在一定程度上考虑了承载器提升高度对称量示值的影响，但是不同高度点称量示值之间的不一致引入的不确定度分量没有进行考虑及评定。笔者参照该技术规范，并结合实际校准工作，具体给出一个电子叉车秤示值误差测量结果不确定度评定的实例。

1 被测量信息

测量对象：电子叉车秤；最小称量20kg；最大称量2000kg；分度值1kg。秤不配备辅助指示装置，秤的检定分度值与实际分度值相等，即 $e=d$ 。

环境条件：温度（9.3 ~ 10.8）℃，相对湿度（52 ~ 56）%。

测量标准： M_1 等级标准砝码。

测量过程：选择电子叉车秤50% 最大称量1000kg、最大称量2000kg 两个称量点，将相应质量的 M_1 等级标准砝码加载到电子叉车秤的承载器上，将承载器的高度提升至指定位置后，在承载器上连续加放0.1d 的附加砝码，利用闪变点法确定其化整前的示值，计算示值误差。

2 测量模型

$$E=I-L$$

式中： E ——电子叉车秤示值误差，kg；

I ——电子叉车秤化整前示值，kg；

L ——载荷值，kg。

测量模型中 I 和 L 为不相关的量，依据JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中的规定，电子叉车秤示值误差的合成不确定度为：

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

式中灵敏系数为

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

合成不确定度 $u_c(E) = \sqrt{u^2(I) + u^2(L)}$ 。

3 测量不确定度主要来源

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 。

(2) 分辨力引入的标准不确定度 u_2 。

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，通常在重复性引起的不确定度分量和分辨力引起的不确定度分量中取两者中的较大者，舍去较小者。

(3) 承载器提升高度引入的标准不确定度 u_3 。

(4) 电子叉车秤偏载引入的标准不确定度 u_4 。

3.2 输入量 L 的标准不确定度 $u(L)$ 主要由 M_1 等级标准砝码质量误差引起。

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

承载器置于接近最低点，在重复性条件下，用1t 的砝码对电子叉车秤进行10 次连续测量，采用闪变读取得到化整前示值如表1 所示。

表1 重复性测量示值（单位：kg）

测量列	1	2	3	4	5
测量值	1000.9	1000.8	1000.8	1000.2	1000.6
测量列	6	7	8	9	10
测量值	1000.5	1000.6	1000.7	1000.6	1000.4

$$\text{则 } u_1 = s(I_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} = 0.21\text{kg}。$$

4.2 分辨力引入的标准不确定度 u_2

被检电子叉车秤的分度值为1kg，半宽 $a=0.5\text{kg}$ ，服从均匀分布，包含因子取 $\sqrt{3}$ 。由于示值采用逐个添加0.1d 的小砝码，采用找闪变点的方法确定，则 $u_2 = \frac{a}{10\sqrt{3}} \text{kg} = 0.03\text{kg}$ ，本例中重复性引入的标准不确定度 u_1 大于被测仪器分辨力引入的标准不确定度 u_2 ，故在计算合成标准不确定度时只需考虑重复性引入的标准不确定度 u_1 即可， u_2 可忽略不计。

4.3 承载器提升高度引入的标准不确定度 u_3

将电子叉车秤承载器位置分别提升至接近最低点、中间点、最高点进行测量，得到的化整前示值如表2 所示。

表2 承载器提升高度及测量示值（单位：kg）

测量点 \ 高度	最低点	中间点	最高点
1t	1000.2	1000.4	1000.7
2t	2000.1	2000.6	2000.9

考虑高度引入的不确定度为均匀分布，则测量点为1t 时

$$u_{3(1)} = \frac{1000.7 - 1000.2}{2\sqrt{3}} \text{kg} = 0.15\text{kg}$$

测量点为2t 时

$$u_{3(2)} = \frac{2000.9 - 2000.1}{2\sqrt{3}} \text{kg} = 0.24\text{kg}$$

4.4 电子叉车秤偏载引入的标准不确定度 u_4

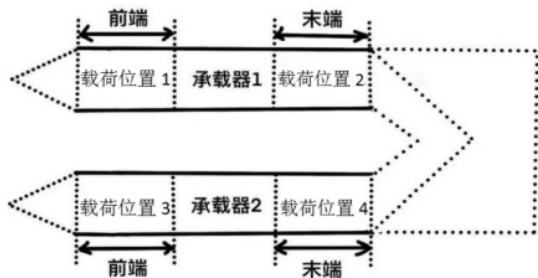


图 承载器载荷的不同位置示意图

如上图所示，将标准砝码先后置于承载器4个测量位置进行测量，得到的化整前示值如表3所示。

表3 承载器载荷位置及测量示值（单位：kg）

位置 测量点	1	2	3	4
1t	1000.4	1000.1	1000.9	1000.2

本例中使用1t砝码进行电子叉车秤偏载引入的不确定度计算。2t点电子叉车秤偏载引入的不确定度按照载荷值的比例进行计算。

考虑电子叉车秤偏载引入的不确定度为均匀分布测量点为1t时

$$u_{4(1)} = \frac{1000.9 - 1000.1}{2\sqrt{3}} \text{ kg} = 0.24 \text{ kg}$$

测量点为2t时

$$u_{4(2)} = \frac{2 \times u_{4(1)}}{1} = 0.48 \text{ kg}$$

4.5 标准砝码质量误差引入的标准不确定度 $u(L)$

根据JJG 99-2022《砝码》检定规程，1t M_1 等级砝码的最大允许误差为 $\pm 50 \text{ g}$ ，2t M_1 等级砝码的最大允许误差为 $\pm 100 \text{ g}$ ，考虑均匀分布。

测量点为1t时

$$u(L_1) = \frac{50}{1000\sqrt{3}} \text{ kg} = 0.03 \text{ kg}$$

测量点为2t时

$$u(L_2) = \frac{100}{1000\sqrt{3}} \text{ kg} = 0.06 \text{ kg}$$

5 合成标准不确定度

各不确定度分量均不相关，计算得到合成标准不确定度如表4所示。

表4 合成标准不确定度（单位：kg）

测量点	$u(I)$				$u(L)$	$u_c(E)$
	u_1	u_2	u_3	u_4		
1t	0.21	0.03	0.15	0.24	0.03	0.36
2t	0.21	0.03	0.24	0.48	0.06	0.58

6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，得到的扩展不确定度如表5所示。

表5 扩展不确定度（单位：kg）

测量点	$u_c(E)$	$U(k=2)$
1t	0.36	0.8
2t	0.58	1.2

7 结语

本文对电子叉车秤示值误差测量结果不确定度评定的过程进行了简要的描述，列出了对测量不确定度有影响的主要影响量，并给出了评定模型、方法及步骤。希望本文对从事电子叉车秤检定校准的人员的实际工作有所帮助。

参考文献

- [1] JJG 99-2022 砝码检定规程[S]. 北京：中国标准出版社，2023.
- [2] JJG 539-2016 数字指示秤检定规程[S]. 北京：中国标准出版社，2016.
- [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，2013.
- [4] JJF(皖) 156-2023 电子叉车秤校准规范[S]. 安徽，2023.

作者简介

吴志成，男，本科学历。马鞍山市计量测试研究所工程师，一级注册计量师。主要从事计量科技创新、产业计量、检定、校准工作。

杨宝华，女，本科学历。马鞍山市计量测试研究所工程师，注册计量师。主要从事计量设备管理、检定、校准工作。