悬吊式集装箱称重装置测量结果的不确定度分析与评定

□巩玉凤

山东博测计量检测集团有限公司

【摘　要】本文依据JJF 2285−2025《悬吊式集装箱称重装置校准规范》中的校准方法，以悬吊式集装箱称重装置为测量对象，分析了该装置质量示值误差和重心坐标示值误差对应的不确定度来源，对其测量结果进行测量不确定度的评定。

【关键词】悬吊式集装箱称重装置；示值误差；不确定度评定

文献标识码：A　　**文章编号：**1003−1870（2026）07−0042−03

Uncertainty Analysis and Evaluation of Measurement Results for Suspended Container Weighing Device

【Abstract】Based on the calibration method in JJF 2285−2025 "Calibration Specification for Suspended Container Weighing Devices", the suspended container weighing device is taken as the measurement object in this paper to analyze the sources of uncertainty in the mass indication error and center−of−gravity coordinate indication error of the suspended container weighing device, and evaluate the uncertainty of its measurement results.

【Keywords】suspended container weighing device; indication error; uncertainty evaluation

引言

悬吊式集装箱称重装置运用力矩平衡原理，通过测量集装箱四个吊点的质量数值来确定集装箱的总质量与重心坐标[1]。它是港口码头、物流枢纽等场所的常用计量器具，其测量结果的准确性关乎集装箱运输超载防控、偏载预警及贸易结算的公正性等。JJF 2285−2025《悬吊式集装箱称重装置校准规范》规定了悬吊式集装箱称重装置质量示值误差和集装箱重心坐标示值误差的校准方法，本文对其测量不确定度进行分析和评定。

1　测量依据和方法

1.1　测量依据：JJF 2285−2025《悬吊式集装箱称重装置校准规范》。

1.2　被测对象：悬吊式集装箱称重装置。

1.3　测量标准：规格为500kg的标准砝码，准确度等级为M1等级，数量20个。

1.4　测量方法

1.4.1　质量示值误差

确保称重装置处于空载，检查并归零。从零点开始增加标准砝码至接近最大秤量，再卸载标准砝

码至零点，每个称量点测量3 次。测量过程中可以卸载标准砝码，但卸载后需要检查零点，如果零点示值不为零，应将示值置零。

1.4.2　重心坐标示值误差

将集装箱平面分为A、B、C、D 四个区域，连接集装箱与称重装置；在A 区域内根据称重装置使用情况，至少选一处放置质心标准器。启动称重装置，置零后，将质心标准器放置在选定的位置，进行3 次重复测量。再分别在B、C、D 区域内重复上述测量方法，本文评定以A 区域为例。

2　测量模型及灵敏度系数

2.1　质量示值误差

测量模型：$E_M=\overline{M}-M_s$

式中：

E_M——质量示值误差，kg 或t；

$\overline{M}$——称重装置称量示值的平均值，kg 或t；

M_s——砝码标准值，kg 或t。

灵敏度系数：$c_1=\frac{\partial E_M}{\partial \overline{M}}=1$；$c_2=\frac{\partial E_M}{\partial M_s}=-1$

方差传递公式：$u_c^2(E_M)=c_1^2u^2(\overline{M})+c_2^2u^2(M_s)$

2.2　重心坐标示值误差

由于X 轴和Y 轴方向坐标的测量不确定度来源相同，故在本次评定过程中选择X 轴方向。

测量模型：$E_X=\overline{X}-X_G$

式中：

E_X——各重心坐标X 轴方向示值误差，m 或mm；

$\overline{X}$——称重装置X轴方向3次测量结果的平均值，m 或mm；

X_G——质心标准器X 轴方向约定真值，m 或mm。

$$X_G=L_{Gx}-\frac{W_L}{2}$$

式中：

X_G——质心G 与原点O 在X 轴方向的相对坐标值，mm；

L_{GX}——质心G 点在X 轴方向与载具（集装箱）左边的距离，mm；

W_L——载具(集装箱) 长度，mm。

灵敏度系数：$c_1=\frac{\partial E_x}{\partial \overline{X}}=1$；$c_2=\frac{\partial E_x}{\partial L_{Gx}}=1$；$c_3=\frac{\partial E_x}{\partial W_L}=\frac{1}{2}$

方差传递公式：$u_c^2(E_x)=c_1^2u^2(\overline{X})+c_2^2u^2(L_{Gx})+c_3^2u^2(W_L)$

由于L_{GX} 和W_L 的测量不确定度来源相同$u^2(L)=u^2(L_{GX})=u^2(W_L)$，因此：$u_c^2(E_x)=u^2(\overline{X})+\frac{5}{4}u^2(L)$

3　不确定度来源分析

3.1　质量示值误差

3.1.1　重复性测量引入的标准不确定度$u_1(\overline{M})$；

3.1.2　分辨率引入的标准不确定度$u_2(\overline{M})$；

3.1.3　标准器示值误差引入的标准不确定度$u(M_s)$；

3.1.4　环境条件和人员操作误差引入的标准不确定度：由于评定在参考条件下开展，环境稳定、操作规范，故此分量忽略不计。

3.2　重心坐标示值误差

3.2.1　重复性测量引入的标准不确定度$u_1(\overline{X})$；

3.2.2　分辨力引入的标准不确定度$u_2(\overline{X})$；

3.2.3　质心标准器引入的标准不确定度$u(L)$。

4　标准不确定度的评定

评定以量程40t、重心坐标测量分辨率为1mm 的悬吊式集装箱称重装置为例，对10t 称量点的质量示值误差和集装箱平面A 区域的重心坐标示值误差进行不确定度的评定。

4.1　质量示值误差的不确定度评定

4.1.1　重复性测量引入的标准不确定度$u_1(\overline{M})$

在重复性试验中，使用10t 标准砝码重复测量3 次(n=3，C=1.69)[2]，测量结果为：10.19t、10.17t、10.21t，重复性结果E_{MR} 为40 kg，则重复性测量引入的标准不确定度为：$u_1(\overline{M})=\frac{E_{MR}}{\sqrt{n}C}=\frac{40\text{kg}}{1.73\times1.69}\approx13.68\text{ kg}$

4.1.2　分辨力引入的标准不确定度$u_2(\overline{M})$

称量系统分辨力d_M 为10kg，测量区间半宽为$d_M/2$，则：$u_2(\overline{M})=\frac{d_M}{2\sqrt{3}}=\frac{10\text{kg}}{3.46}\approx2.89\text{ kg}$

4.1.3　标准器示值误差引入的标准不确定度$u(M_s)$

校准使用规格为500kg、准确度等级为M1 等级的标准砝码，其最大允许误差为 ± 50g，因标准砝码经检定合格，且在校准过程中仅以标称值作为量值依据，按矩形分布，则其引入的标准不确定度为：

$$u(M_s)=\frac{|MPE|}{\sqrt{3}}=\frac{20\times0.05\text{kg}}{1.73}\approx0.58\text{ kg}$$

4.1.4　合成标准不确定度的评定

$$u_c(E_M)=\sqrt{u_1^2(\overline{M})+u_2^2(\overline{M})+u^2(M_s)}\approx 13.99\ \text{kg}$$

4.1.5　扩展不确定度的评定

取包含因子k=2，则：$U(E_M)=2\times u_c(E_M)\approx 28$ kg

4.2　重心坐标示值误差测量不确定度的评定

4.2.1　重复性测量引入的标准不确定度$u_1(\overline{X})$

将质心标准器放置在集装箱内重复进行3次(n=3，C=1.69)校准，测量结果分别为：−136mm、−131mm、−134mm，重复性测量结果E_{xR}为5mm，则重复性测量引入的标准不确定度为：

$$u_1(\overline{X})=\frac{E_{xR}}{\sqrt{n}C}=\frac{5\ \text{mm}}{1.73\times 1.69}\approx 1.71\ \text{mm}$$

4.2.2　分辨力引入的标准不确定度$u_2(\overline{X})$

称量装置重心坐标的分度值d_L为1mm，其区间半宽度为$\pm d_L/2$，假设均匀分布，由此所引入的标准不确定度为：$u_2(\overline{X})=\frac{d_L}{2\sqrt{3}}=\frac{1\text{mm}}{3.46}\approx 0.29$ mm

4.2.3　质心标准器引入的标准不确定度$u(L)$

① 重复性测量引入的标准不确定度$u_1(L)$

用0级手持式激光测距仪测量质心G点在X轴方向与集装箱边缘的距离，重复测量3次(n=3，C=1.69)，测量结果为：3031mm、3025mm、3029mm，重复性测量结果E_{LR}为6mm，由重复性测量引入的标准不确定度为：$u_1(L)=\frac{E_{LR}}{\sqrt{3}C}\approx 2.05$ mm

②质心标准器引入的标准不确定度$u_2(L)$

由质心标准器校准证书可知，质心坐标标准不确定度u_G为1.5mm，则：$u_2(L)=u_G=1.5$mm

③手持式激光测距仪示值误差引入的标准不确定度$u_3(L)$

0级手持式激光测距仪的最大允许误差为$\pm(1.5\text{mm}+5\times 10^{-5}D)$[3]，其中$D$表示被测距离2436mm，按均匀分布，则其引入的标准不确定度为：

$$u_3(L)=\frac{1}{\sqrt{3}}\approx 0.94\ \text{mm}$$

④环境温度偏离20℃引入的标准不确定度$u_4(L)$

现场测量时环境温度t为25.6℃，集装箱长度W_L为6058mm，集装箱材质的线膨胀系数α为12×10^{-6}/℃，则环境温度偏离20℃引入的标准不确定度$u_4(L)$为：

$$u_4(L)=\frac{\alpha(t-20℃)\cdot W_L}{\sqrt{3}}\approx 0.24\ \text{mm}$$

4.2.4　合成标准不确定度的评定

$$u_c(E_x)=\sqrt{u_1^2(\overline{X})+u_2^2(\overline{X})+\frac{5}{4}\left[u_1^2(L)+u_2^2(L)+u_3^2(L)+u_4^2(L)\right]}\approx 3.50\ \text{mm}$$

4.2.5　扩展不确定度的评定

取包含因子k=2，则：$U(E_X)=2\times u_c(E_X)\approx 7$mm

5　测量不确定度报告

质量示值误差的扩展不确定度为：U=28kg (k=2)，重心坐标示值误差的扩展不确定度为：U=7 mm (k=2)。

6　结语

本次不确定度评定工作严格依据JJF 2285−2025《悬吊式集装箱称重装置校准规范》及JJF 1059.1−2012《测量不确定度评定与表示》的要求开展。本次测量所建立的测量模型与测量方法仅适用于悬吊式集装箱称重装置10t称量点的质量示值误差和重心坐标X轴方向示值误差的校准。若改变量程、校准方向和测量方法等，应对其重新进行测量不确定度的评定。

参考文献

[1] JJF 2285−2025 悬吊式集装箱称重装置校准规范[S].

[2] JJF 1059.1−2012 测量不确定度评定与表示[S].

[3] 钱峥, 张杰. 校准和测量能力(CMC)评估方法和实例[J].

作者简介

巩玉凤，助理工程师，研究方向：力学计量。