

测量不确定度评定

1.1 概述

1.1.1 测量对象：悬吊式集装箱称重装置；

1.1.2 测量标准：标准砝码、手持式激光测距仪、质心标准器；

1.1.3 测量依据：JJF XXXX-202X《悬吊式集装箱称重装置校准规范》；

1.1.4 环境条件：30℃，60%RH。

1.2 称量示值误差校准结果的不确定度评定

评定称量点 20 t 时校准结果的不确定度。

1.2.1 测量模型

$$M_E = \bar{M} - M_s \quad (1.1)$$

式中：

M_E ---称量示值误差；

\bar{M} ---称重装置称量示值的平均值；

M_s ---试验载荷标准值。

1.2.2 方差传递公式

$$u_c^2(M_E) = c_1^2 u^2(\bar{M}) + c_2^2 u^2(M_s) \quad (1.2)$$

1.2.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial M_E}{\partial \bar{M}} = 1, c_2 = \frac{\partial M_E}{\partial M_s} = -1 \quad (1.3)$$

因此

$$u_c^2(M_E) = u^2(\bar{M}) + u^2(M_s) \quad (1.4)$$

1.2.4 各输入量的标准不确定度

1.2.4.1 由称重装置称量示值引入的标准不确定度分量 $u(\bar{M})$

标准不确定度 $u(\bar{M})$ 主要源于称重装置测量重复性、分辨力。

1.2.4.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(\bar{M})$

重复性校准时，在 20 t 载荷下，重复测量 3 次得到实测值如表 1.1 所示：

表 1.1 称量示值测量重复性实测数据

载荷值	示值			重复性误差
	1	2	3	
20t	20.13t	20.09t	20.11t	40kg

$$u_1(\bar{M}) = \frac{M_R}{\sqrt{n}C} = \frac{40}{1.73 \times 1.69} \approx 13.6\text{kg} \quad (1.5)$$

式中：

M_R --- 称量重复性误差；

n --- 测量次数；

C --- 极差系数。

1.2.4.1.2 由分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\bar{M})$

称量装置称重分度值 d_M 为 10kg，其区间半宽度为 $\pm d_M/2$ ，服从矩形分布，则其标准不确定度 $u_2(\bar{M})$ 为：

$$u_2(\bar{M}) = \frac{d_M}{2\sqrt{3}} = \frac{10}{3.46} \approx 2.9\text{kg} \quad (1.6)$$

1.2.4.2 由标准砝码引入的标准不确定度 $u(M_S)$

在校准过程中使用砝码标称值，且服从矩形分布，其标准不确定度为：

$$u(M_S) = \frac{|MPE|}{\sqrt{3}} = \frac{20 \times 0.05}{1.73} \approx 0.6\text{kg} \quad (1.7)$$

1.2.5 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 1.2

表 1.2 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	标准不确定度
$u_1(\bar{M})$	测量重复性	A	$\frac{M_R}{\sqrt{n}C}$
$u_2(\bar{M})$	称量装置分辨率	B	$\frac{d_M}{2\sqrt{3}}$
$u(M_S)$	试验载荷不确定度	B	$ MPE /\sqrt{3}$

1.2.6 合成标准不确定度

将各分量不确定度代入方差传递公式，得：

$$u(M_E) = \sqrt{u_1^2(\bar{M}) + u_2^2(\bar{M}) + u^2(M_S)} \approx 14\text{kg} \quad (1.8)$$

1.2.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度

$$U_M = 2 \times u(M_E) = 28\text{kg} \quad (1.9)$$

1.3 重心坐标示值误差校准结果测量不确定度评定

由于 x 轴和 y 轴方向坐标的测量不确定度来源相同，故只需分析一个方

向即可。

1.3.1 测量模型

$$X_E = \bar{X} - X_G \quad (1.10)$$

式中：

X_E —各重心坐标 x 轴方向示值误差；

\bar{X} —称重装置 x 轴方向 3 次测量结果的平均值；

X_G —质心标准器 x 轴方向约定真值。

$$X_G = L_{Gx} - \frac{L_W}{2} \quad (1.11)$$

式中：

X_G ---质心 G 与原点 0 在 x 轴方向的相对坐标值，m 或 mm；

L_{Gx} ---质心 G 点在 x 轴方向与载具（集装箱）左边距离，m 或 mm；

L_W ---载具（集装箱）长度，m 或 mm；。

1.3.2 方差传递公式

$$u_c^2(X_E) = c_1^2 u^2(\bar{X}) + c_2^2 u^2(L_{Gx}) + c_3^2 u^2(L_W) \quad (1.12)$$

1.3.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial X_E}{\partial \bar{X}} = 1, c_2 = \frac{\partial X_E}{\partial L_{Gx}} = 1, c_3 = \frac{\partial X_E}{\partial L_W} = \frac{1}{2} \quad (1.13)$$

由于 L_{Gx} 和 L_W 的测量不确定度来源相同 $u^2(L) = u^2(L_{Gx}) = u^2(L_W)$

$$\text{因此：} u_c^2(X_E) = u^2(\bar{X}) + \frac{5}{4} u^2(L) \quad (1.14)$$

1.3.4 各输入量的标准不确定度

1.3.4.1 由称重装置重心坐标示值引入的标准不确定度分量 $u(\bar{X})$

标准不确定度 $u(\bar{X})$ 主要源于称重装置测量重复性、分辨力。

1.3.4.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(\bar{X})$

重复性校准时，集装箱与悬吊式集装箱称重装置相连接，去皮后将质心标准器放置在集装箱内进行校准，得到的重心坐标重复性测试数据如表 1.3 所示。

表 1.3 重心坐标重复性实测数据

标准值	示值			重复性误差
	1	2	3	
-144mm	-158mm	-146 mm	-156 mm	12mm

$$u_1(\bar{X}) = \frac{X_R}{\sqrt{n}C} = \frac{12}{1.73 \times 1.69} \approx 4\text{mm} \quad (1.15)$$

式中：

X_R --- 重心坐标重复性误差；

n --- 测量次数；

C --- 极差系数。

1.3.4.1.2 由分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\bar{X})$

称量装置重心坐标分度值 d 为 1mm，其区间半宽度为 $\pm d/2$ ，服从矩形分布，则其标准不确定度为：

$$u_2(\bar{X}) = \frac{d_L}{2\sqrt{3}} = \frac{1}{3.46} \approx 0.3\text{mm} \quad (1.16)$$

1.3.4.2 由质心标准器测量引入的标准不确定度 $u(L)$

标准不确定度 $u(L)$ 主要源于质心标准器测量重复性、手持式激光测距仪示值误差和环境温度偏离等因素。

1.3.4.2.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(L)$

用 0 级手持式激光测距仪测量质心 G 点 x 轴方向与集装箱边缘的距离、重复测量 3 次取平均值作为测量结果，得到的重复性测试数据如表 1.4 所示：

表 1.4 测量重复性数据

测量结果			重复性
1	2	3	
2939mm	2943mm	2940mm	4mm

$$u_1(L) = \frac{L_R}{\sqrt{3}C} \approx 1.4\text{mm} \quad (1.17)$$

式中：

L_R - 测量重复性误差；

n --- 测量次数；

C --- 极差系数。

1.3.4.2.2 质心标准器引入的不确定度分量 $u_2(L)$

质心标准器的质心坐标标准不确定度 u_G 由校准证书获得为 1.3mm，按均匀分布，其不确定度为：

$$u_2(L) = u_G \quad (1.18)$$

1.3.4.2.3 手持式激光测距仪示值误差引入的不确定度分量 $u_3(L)$

0 级手持式激光测距仪最大示值允许误差为 e_1 为 $(1.5 \text{ mm} + 5 \times 10^{-5} D)$, D 为被测距离 2740mm, 服从均匀分布, 其不确定度为:

$$u_3(L) = \frac{e_1}{\sqrt{3}} \approx 0.9 \text{ mm} \quad (1.19)$$

1.3.4.2.4 环境温度偏离 20°C 引入的不确定度分量 $u_4(L)$

环境温度变化对长度测量结果会有影响, 集装箱长度 L_w 为 6043mm, 材质线膨胀系数 $\alpha = 11.4 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, 现场测量时温度为 25.4°C, 其环境温度偏离 20°C 引入的不确定度分量 $u_{12}(x)$ 为:

$$u_4(L) = \frac{\alpha \cdot (t-20) \cdot L_w}{\sqrt{3}} \approx 0.21 \text{ mm} \quad (1.20)$$

式中:

t --- 环境温度

α --- 集装箱材质的线膨胀系数

L_w --- 集装箱长度

1.3.5 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 1.5

表 1.5 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	标准不确定度
$u_1(\bar{X})$	称量装置测量重复性	A	$\frac{X_R}{\sqrt{n}C}$
$u_2(\bar{X})$	称量装置分辨力	B	$\frac{d_L}{2\sqrt{3}}$
$u_1(L)$	质心标准器测量重复性	A	$\frac{L_R}{\sqrt{3}c}$
$u_2(L)$	质心标准器不确定度	B	u_G
$u_3(L)$	手持式激光测距仪示值误差	B	$\frac{e_1}{\sqrt{3}}$
$u_4(L)$	环境温度偏离 20°C	B	$\frac{\alpha \cdot (t-20) \cdot L_w}{\sqrt{3}}$

1.3.6 合成标准不确定度

将各分量不确定度代入方差传递公式, 得:

$$u(M_E) = \sqrt{u_1^2(\bar{X}) + u_2^2(\bar{X}) + \frac{5}{4}(u_1^2(L) + u_2^2(L) + u_3^2(L) + u_4^2(L))} \approx 4.6 \text{ mm}$$