

# 体重秤校准规范不确定评定报告

《体重秤校准规范》起草小组

2022年03月16日

# 体重秤示值误差测量不确定度评定方法及实例

## 1 概述

- 1.1 测量对象：体重秤；
- 1.2 测量标准：M<sub>1</sub> 等级砝码；
- 1.3 测量依据：JJF XXXX-202X 《体重秤校准规范》；
- 1.4 环境条件：(-10~+40) °C，温度变化不超过 5°C/h；
- 1.5 测量过程：在规定的条件下，用砝码对体重秤进行测试，从零逐级施加载荷至最大秤量，再以相反的次序逐级卸下载荷至零点，分别测定各校准点称量的示值误差。

## 2 数学模型

### 2.1 建模

$$E = I_1 - I_2 - L \quad (1)$$

式中： $E$  --- 各称量点示值误差，单位为：kg 或 t；

$I_1$  --- 称重装置初始值，单位为：kg 或 t；

$I_2$  --- 称重装置施加标准载荷后的示值，单位为：kg 或 t；

$L$  --- 施加的标准载荷值，单位为：kg 或 t。

### 2.2 灵敏系数

$$I_1 \text{ 的灵敏系数} \quad c_1 = \frac{\partial E}{\partial I_1} = 1 \quad (2)$$

$$I_2 \text{ 的灵敏系数} \quad c_2 = \frac{\partial E}{\partial I_2} = -1 \quad (3)$$

$$L \text{ 的灵敏系数} \quad c_3 = \frac{\partial E}{\partial L} = -1 \quad (4)$$

## 3 不确定度来源分析

- 3.1 重复性测量引入的标准不确定度分量  $u_1$  (A 类评定)
- 3.2 称重装置分辨率引入的标准不确定度分量  $u_2$  (B 类评定)
- 3.3 称重装置偏载引入的标准不确定度分量  $u_3$  (B 类评定)
- 3.4 标准载荷测量装置引入的标准不确定度分量  $u_4$  (B 类评定)

## 4 测量不确定度评定

- 4.1 重复性测量引入的标准不确定度  $u_1$  为：

$$u_1 = \frac{|E_{m \cdot a \cdot \bar{x}} - E_m|}{C} \quad (5)$$

$C$ ——极差系数，此处  $C=1.69$

4.2 称重装置分辨率引入的标准不确定度为 $u_2$ ：

称重装置分辨力为 $d$ ，假设服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则其标准不确定度 $u_2$ 为：

$$u_2 = \frac{d}{2\sqrt{3}} \quad (6)$$

4.3 称重装置偏载引入的标准不确定度为 $u_3$ ：

对一般用料斗式承载器的称重装置进行偏载实验时，通常用最大秤量的 1/10 的载荷，施加在每个支撑点上，最大值与最小值之差一般不会超过 1 个分度  $d$ ，半宽  $a = 0.5d$ ，而正常使用的大型料斗为放料方便，通常将料斗设计为锥形，偏载量远比做偏载试验时少，假设其误差的最大值与最小值之差为偏载试验时的 1/3，并服从均匀分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，可得：

$$u_3 = \frac{0.5d}{3 \times \sqrt{3}} \quad (7)$$

4.4 标准载荷测量装置引入的标准不确定度为 $u_4$ ：

标准载荷测量装置主要由称重传感器、载荷加载和控制系统等部件组成，因此，标准载荷测量装置引入的标准不确定度与称重传感器、力加载和控制系统密切相关，且称重传感器、力加载和控制系统引入的不确定度分量互不相关，则其标准不确定度 $u_4$ 为：

$$u_4 = \sqrt{u_{41}^2 + u_{42}^2} \quad (8)$$

式中： $u_{41}$ ---为称重传感器引入的不确定度分量

$u_{42}$ ---为载荷加载和控制系统引入的不确定度分量

4.3.1 称重传感器引入的不确定度分量 $u_{41}$ 为：

称重传感器校准的扩展不确定度为 $U_1$ 包含因子 $k_1$ 则

$$u_{41} = \frac{U_1}{k_1} \quad (9)$$

4.3.2 载荷加载和控制系统引入的不确定度分量 $u_{42}$ ：

载荷加载和控制系统引入的不确定度分量主要由载荷短时波动引入，假设载荷短时稳定性为 $\pm b$ ，均匀分布，则

$$u_{42} = \frac{b}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

4.5 合成不确定度评定

表 1 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	灵敏系数
$u_1$	重复性测量	A	$\frac{E_{\max} - E_{\min}}{C}$	1
$u_2$	称重装置分辨率	B	$\frac{d}{2\sqrt{3}}$	1
$u_3$	称重装置偏载	B	$\frac{0.5d}{3 \times \sqrt{3}}$	1
$u_4$	标准载荷测量装置	B	$\sqrt{u_{41}^2 + u_{42}^2}$	-1
$u_{41}$	称重传感器	B	$\frac{U_1}{k_1}$	
$u_{42}$	载荷短时波动	B	$\frac{b}{\sqrt{3}}$	

考虑到重复性测量引起的不确定度分量和分辨力引起的不确定度分量的相关性，两者取较大的数值计算合成不确定度。假定重复性测量引起的不确定度分量大于分辨力引起的不确定度分量，则合成不确定度按下式计算：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{\left(\frac{E_{\max} - E_{\min}}{C}\right)^2 + \left(\frac{d}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.5d}{3\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_1}{k_1}\right)^2 + \left(\frac{b}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (11)$$

假定分辨力引起的不确定度分量大于重复性测量引起的不确定度分量，则合成不确定度按下式计算：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{\left(\frac{d}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.5d}{3\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_1}{k_1}\right)^2 + \left(\frac{b}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (12)$$

#### 4.6 扩展不确定度评定

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度按下式计算：

$$U = 2u_c \quad (13)$$

### 5 测量不确定度评定示例

5.1 采用标准载荷测量装置，对一台常用秤量约为 400t,分度值为 100kg 的原煤仓分炉煤称重装置进行校准，标准载荷测量装置测量范围为 (0~400) t，称重传感器引入的相对扩

展不确定度为  $U_r = 0.01\%$  ,  $k=2$  , 载荷加载和控制系统的短时波动优于  $\pm 0.01\%/30s$  。得到的校准试验数据如表 2 所示:

表 2 原煤仓分炉煤称重装置校准实测数据

计量单位: t

校准项目	施加载荷值 $L$	称重装置初始值 $I_1$	称重装置施加标准载荷后的示值 $I_2$	示值误差 $E$
称量性能	0	426.8	426.8	/
	100	426.8	326.8	0.0
	200	426.8	226.9	-0.1
	300	426.8	126.6	+0.2
	400	426.8	26.5	+0.3
	300	426.8	126.9	-0.1
	200	426.8	226.6	+0.2
	100	426.8	326.7	+0.1
	0	426.8	426.7	+0.1
重复性	200	426.8	226.5	+0.3
	200	426.8	226.6	+0.2
	200	426.8	226.6	+0.2

## 5.2 原煤仓分炉煤称重装置校准示值误差扩展不确定的评定

以 400t 载荷测量点为例评定

### 5.2.1 重复性测量引入的标准不确定度 $u_1$ 为

$$u_1 = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{C} \approx \frac{0.3 - 0.2}{1.69} \approx 0.059t$$

### 5.2.2 称重装置分辨率引入的标准不确定度 $u_2$ 为:

称重装置分度值  $d=0.1t$  , 服从均匀分布,  $k = \sqrt{3}$  , 则其标准不确定度  $u_2$  为:

$$u_2 = \frac{d}{2\sqrt{3}} \approx \frac{0.1}{2 \times 1.73} \approx 0.029t$$

### 5.2.3 称重装置偏载引入的标准不确定度 $u_3$ 为

$$u_3 = \frac{0.5d}{3 \times \sqrt{3}} = \frac{0.5 \times 0.1}{3 \times 1.732} \approx 0.0096t$$

### 5.2.4 标准载荷测量装置引入的标准不确定度 $u_4$ 为

$$u_4 = \sqrt{u_{41}^2 + u_{42}^2}$$

称重传感器引入的不确定度分量  $u_{41}$  为:

$$u_{41} = \frac{U_1}{k_1} = \frac{0.01\% \times 400}{2} = 0.02t$$

载荷加载和控制系统因载荷短时波动引入的不确定度分量  $u_{42}$  为

$$u_{42} = \frac{b}{\sqrt{3}} \approx \frac{0.01\% \times 400}{1.73} \approx 0.023t$$

则由标准载荷测量装置引入的标准不确定度  $u_3$

$$u_4 = \sqrt{u_{41}^2 + u_{42}^2} = \sqrt{0.02^2 + 0.023^2} \approx 0.030t$$

#### 5.2.4 合成不确定度评定

考虑到重复性测量引入的标准不确定度  $u_1$  大于称重装置分辨率引入的标准不确定度  $u_2$ 。因此,

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{\left(\frac{E_{\max} - E_{\min}}{C}\right)^2 + \left(\frac{0.5d}{3\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_1}{k_1}\right)^2 + \left(\frac{b}{\sqrt{3}}\right)^2} \\ &= \sqrt{0.059^2 + 0.0096^2 + 0.02^2 + 0.023^2} = 0.067t \end{aligned}$$

#### 5.2.5 扩展不确定度评定

取包含因子  $k=2$ , 则扩展不确定度

$$U = 2u_c = 2 \times 0.067 \approx 0.14t$$