

# 悬挂式静态单轨秤校准规范 测量不确定度评定报告

悬挂式静态单轨秤校准规范起草小组

2026年2月2日

# 中国计量测试学会团体标准

## 《悬挂式静态单轨秤校准规范》不确定度评定报告

### 1 测量方法

1.1 测量对象：悬挂式静态单轨秤。

1.2 测量标准：标准砝码。

1.3 测量依据：T/CSMT-YB-00X-2026《悬挂式静态单轨秤校准规范》。

1.4 环境条件：0℃~40℃。

1.5 测量过程：在规定的条件下，用标准砝码对悬挂式静态单轨秤逐级施加载荷至最大秤量或接近于最大秤量，分别测定各称量点的示值误差。

### 2 测量模型

#### 2.1 建模

根据《悬挂式静态单轨秤校准规范》中的要求和称量方法，建立测量模型：

$$E = P - L = I + 0.5d - \Delta L - L \quad (\text{C.1})$$

式中：

$E$ ——化整前的误差，kg、g；

$P$ ——化整前的示值，kg、g；

$I$ ——示值，kg、g；

$L$ ——施加的标准载荷，kg、g；

$\Delta L$ ——附加载荷，kg、g。

当悬挂式静态单轨秤具备扩展指示装置且在校准中使用时，上述公式可直接简化为  $E = I - L$ 。

如果悬挂式静态单轨秤不具备扩展指示装置，采用（C.1）式计算误差，考虑不确定度评定时， $0.5d$  为常量，不产生不确定度分量， $\Delta L$  为附加砝码，相对  $I$  和  $L$  至少小一个数量级，也可忽略，因此对于悬挂式静态单轨秤的测量误差，进行不确定评定的测量模型为：

$$E = I - L \quad (\text{C.2})$$

#### 2.2 方差传递公式

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(I) + c_2^2 u^2(L) \quad (\text{C.3})$$

#### 2.3 灵敏系数和方差

$I$  的灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial E}{\partial I} = 1 \quad (\text{C.4})$$

$L$  的灵敏系数:

$$c_2 = \frac{\partial E}{\partial L} = -1 \quad (\text{C.5})$$

$$u_c^2 = u^2(I) + u^2(L) \quad (\text{C.6})$$

### 3 不确定度来源分析

不确定度来源主要包括:

- 重复性测量引入的标准不确定度  $u_1$ ;
- 悬挂式静态单轨秤分辨力引入的标准不确定度  $u_2$ ;
- 悬挂式静态单轨秤载荷在不同位置误差引入的标准不确定度  $u_3$ ;
- 标准砝码引入的标准不确定度  $u_4$ ;

### 4 标准不确定度评定

#### 4.1 重复性测量引入的标准不确定度 $u_1$

$$u_1 = \frac{E_R}{C} \quad (\text{C.7})$$

式中:

$E_R$ ——重复性, kg、g;

$C$ ——极差系数。

#### 4.2 悬挂式静态单轨秤分辨力引入的标准不确定度 $u_2$

悬挂式静态单轨秤分辨力为  $d$ , 采用“闪变点”法可将其分辨力改变为  $0.1d$ , 服从均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ , 则其标准不确定度  $u_2$ :

$$u_2 = \frac{0.1d}{2\sqrt{3}} = 0.029d \quad (\text{C.8})$$

若悬挂式静态单轨秤具备扩展指示装置且在校准中使用时, 经细分后的分辨力为  $d'$ , 服从均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ , 则其标准不确定度  $u_2$  为:

$$u_2 = \frac{d'}{2\sqrt{3}} = 0.29d' \quad (\text{C.9})$$

#### 4.3 悬挂式静态单轨秤载荷在不同位置误差引入的标准不确定度 $u_3$

进行载荷在不同位置误差实验时, 用最大称量  $1/3$  的砝码, 使挂点分别处于标称称量位置、前移位置、后移位置, 最大值与最小值之差一般不会超过  $d$ , 而实际使用称量位置较为注意, 偏移量远比做载荷在不同位置误差试验时少, 假设其误差为载荷在不同位置误差试验时的  $1/3$ , 误差属于均匀分布,

取  $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_3 = \frac{d}{2 \times 3 \times \sqrt{3}} = 0.10d \quad (\text{C.10})$$

#### 4.4 标准砝码引入的标准不确定度 $u_4$

标准砝码在校准过程中使用其标称值，其最大允许误差为MPE，服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则其标准不确定度 $u_3$ 为：

$$u_4 = \frac{|MPE|}{\sqrt{3}} \quad (\text{C.11})$$

#### 4.5 合成标准不确定度 $u_c$

标准不确定度分量汇总见表 1。

表 1 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 $u_i$	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数
$u_1$	重复性测量	$\frac{E_R}{C}$	$c_1=1$
$u_2$	悬挂式静态单轨秤分辨力	0.029d 或 0.29d'	
$u_3$	载荷在不同位置误差	0.10d	
$u_4$	标准砝码	$\frac{ MPE }{\sqrt{3}}$	$c_2=-1$

上述标准不确定分量均不相关，由测量重复性和分辨力引入的不确定度分量，取其数值较大者合成，则合成不确定度为：

$$u_c = \sqrt{(c_1 u_1)^2 + (c_1 u_2)^2 + (c_1 u_3)^2 + (c_2 u_4)^2} \quad (\text{C.12})$$

#### 4.6 扩展不确定度 $U$

取包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c \quad (\text{C.13})$$

## 5 评定示例

### 5.1 悬挂式静态单轨秤校准概况

采用标准砝码，对一台最大秤量为 500kg，实际分度值为 0.2kg 的悬挂式静态单轨秤进行校准。M<sub>1</sub> 等级标准砝码标称测量范围为（0.02~500）kg。

### 5.2 称量点选取

以试验载荷250kg为称量点进行评定。

#### 5.2.1 重复性测量引入的标准不确定度分量 $u_1$

采用 A 类评定方法，在重复性条件下，施加 250kg 标准载荷 3 次，采用“闪变点”法测量化整前示值误差，误差  $E$  分别为 0.40kg、0.40kg、0.20kg。

$$u_1 = \frac{E_R}{C} = \frac{0.20}{1.69} = 0.12 \text{ kg}$$

#### 5.2.2 悬挂式静态单轨秤分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

悬挂式静态单轨秤实际分度值  $d=0.2\text{kg}$ ，采用“闪变点”法测量化整前示值误差，可将其分辨力改变为  $0.1d$  即  $0.02\text{kg}$ ，半宽  $a = \frac{0.1d}{2} = 0.01\text{kg}$ ，服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则其标准不确定度 $u_2$ 为：

$$u_2 = \frac{0.1d}{2\sqrt{3}} = \frac{0.02}{2\sqrt{3}} = 0.0058 \text{ kg}$$

#### 5.2.3 悬挂式静态单轨秤载荷在不同位置误差引入的标准不确定度 $u_3$

悬挂式静态单轨秤实际分度值 $d=0.2\text{kg}$ ，半宽 $a = \frac{d}{2} = 0.1\text{kg}$ ，服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则其标准不确定度 $u_3$ 为：

$$u_3 = \frac{d}{2 \times 3 \times \sqrt{3}} = \frac{0.2}{2 \times 3 \times \sqrt{3}} = 0.020\text{kg}$$

#### 5.2.4 标准砝码质量允差引入的标准不确定度分量 $u_4$

$M_1$ 等级的标准砝码，在校准中使用标称值，质量允差为所有砝码允差的和，250kg的质量允差为 $\pm 12.5\text{g}$ ，服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_4$ 为：

$$u_4 = \frac{|MPE|}{\sqrt{3}} = \frac{0.0125}{\sqrt{3}} = 0.0072 \text{ kg}$$

#### 5.2.5 合成标准不确定度计算

合成时， $u_1$ 和 $u_2$ 取数值较大者合成，则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.13\text{kg}$$

#### 5.2.6 扩展不确定度 取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \cdot u_c = 0.26\text{kg}$$