

# 《弹簧冲击器冲击能量校准装置校准规范》 误差及不确定度分析报告

《弹簧冲击器冲击能量校准装置校准规范》起草小组

2022年09月

# 弹簧冲击器冲击能量校准装置的误差及不确定度评定实例

## 1 概述

- 1.1 校准参数：弹簧冲击器冲击能量校准装置的冲击能量。
- 1.2 校准标准：专用能量发生器。
- 1.3 环境条件：室温（18~28）℃。
- 1.4 校准过程：在规定的条件下，用专用能量发生器对弹簧冲击器冲击能量校准装置进行校准，取 5 次示值的算术平均值作为弹簧冲击器冲击能量校准装置的校准值。

## 2 测量模型

### 2.1 建模

$$\Delta E = \bar{E}_i - E_s \quad (1)$$

式中： $\Delta E$ ——校准装置冲击能量的示值误差，单位：J；

$\bar{E}_i$ ——5 次测量值的算术平均值，单位：J；

$E_s$ ——冲击能量标准值，单位：J。

### 2.2 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta E}{\partial \bar{E}_i} = 1 \quad (2)$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta E}{\partial E_s} = -1 \quad (3)$$

## 3 不确定度来源分析

- 3.1 重复测量引入的标准不确定度 $u_1$ 。
- 3.2 专用能量发生器引入的标准不确定度 $u_2$ 。
- 3.3 指示器分辨力或估读数引入的标准不确定度 $u_3$ 。

## 4 测量不确定度

4.1 重复测量引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{E_{imax} - E_{imin}}{\sqrt{5}C} \quad (4)$$

式中：C——极差系数，此处 C=2.33.

4.2 专用能量发生器引入的标准不确定度

专用能量发生器引入的标准不确定度根据校准装置的扩展不确定度计算：

$$u_2 = \frac{\Delta E}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

式中： $U_s$ ——专用能量发生器在某校准点的扩展不确定度，单位：J。

4.3 指示器分辨力或估读数引入的标准不确定度

指示器分辨力或估读数为 r，假设服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度  $u_3$  为：

$$u_3 = \frac{r}{2\sqrt{3}} \quad (6)$$

4.4 合成标准不确定度评定

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
$u_1$	重复测量	A	$\frac{E_{imax} - E_{imin}}{\sqrt{5}C}$	1
$u_2$	冲击能量发生装置	B	$\frac{\Delta E}{\sqrt{3}}$	-1
$u_3$	指示器分辨力或估读数	B	$\frac{r}{2\sqrt{3}}$	1

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。

假定重复测量引入的不确定度分量大于分辨力引入的不确定度分量，则合成不确定度按式 (7) 计算：

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{E_{imax}-E_{imin}}{\sqrt{5}c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (7)$$

假定分辨力引入的不确定度分量大于重复性测量引入的不确定度分量，则合成不确定度按式（8）计算：

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{r}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (8)$$

#### 4.5 扩展不确定度评定

取包含因子  $k=2$ ，则冲击能量校准值的扩展不确定度按式（9）计算。

$$U = k \times u_c = 2 \times u_c \quad (9)$$

## 5 测量不确定度评定实例

5.1 采用专用能量发生器对弹簧冲击器冲击能量校准装置进行校准，得到的测量数据如表 2 所示。

表 2 不确定度评定实例校准数据

校准点/J	测量结果/J					校准结果 /J
	1	2	3	4	5	
0.20	0.200	0.205	0.200	0.195	0.205	0.20
0.35	0.350	0.350	0.345	0.355	0.355	0.35
0.50	0.500	0.505	0.495	0.505	0.500	0.50
0.70	0.705	0.705	0.715	0.710	0.705	0.71
1.00	1.005	1.005	1.000	1.015	1.010	1.01
2.00	2.005	2.005	2.010	1.995	2.000	2.00

#### 5.2 不确定度分量的计算

采用 5 次测量得到的试验数据（见表 2），极差系数  $C=2.33$ 。根据公式（4）计算出不确定度分量  $u_1$ ；根据 GB/T 2423.55-2006 《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Eh：锤击试验》中的技术要求，专用能量发生器的最大允许误差为： $\pm 4.1 \times 10^{-4} \text{J}$ （校准撞击元件质量为 250g 时）和  $\pm 8.2 \times 10^{-4} \text{J}$ （校准撞击元件质量为 500g 时），根据式（5），计算出不确定度分量  $u_2$ ；指示器估读数为 0.005J，根据式（6），计算出不确定度分量  $u_3$ 。

由于重复测量引入的不确定度分量大于分辨力引入的不确定度分量，则根据公式（7）计算出合成不确定度。不确定度分量、合成不确定度汇总表见表 3。

表 3 不确定度分量、合成不确定度汇总表

校准点/J	$u_1/J$	$u_2/J$	$u_3/J$	$u_c/J$
0.20	0.002	$2.4 \times 10^{-4}$	0.0014	0.002
0.35	0.002	$2.4 \times 10^{-4}$	0.0014	0.002
0.50	0.002	$2.4 \times 10^{-4}$	0.0014	0.002
0.70	0.002	$2.4 \times 10^{-4}$	0.0014	0.002
1.00	0.003	$2.4 \times 10^{-4}$	0.0014	0.003
2.00	0.003	$4.7 \times 10^{-4}$	0.0014	0.003

### 5.3 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，冲击能量测量值的扩展不确定度按公式（9）计算，结果如表 4 所示。

表 4 冲击能量测量值的扩展不确定度汇总表

校准点/J	$U/J$	$k$
0.20	0.004	2
0.35	0.004	
0.50	0.004	
0.70	0.004	
1.00	0.006	
2.00	0.006	