

国家计量技术规范
港口起重机起重量限制器校准规范
（征求意见稿）
不 确 定 度 评 定 报 告

规范编制组

2025 年 5 月

目 录

1	实验室条件下示值校准结果不确定度评定	1
1.1	概述	1
1.2	不确定度分析	1
1.3	校准能力分析	2
2	装机条件下示值校准结果不确定度评定	4
2.2	不确定度分析	4
2.3	校准能力分析	5

港口起重机起重量限制器示值测量不确定度评定示例

分别对港口起重机起重量限制器在实验室条件下示值校准结果与装机条件下示值校准结果进行不确定度评定。

一、实验室条件下示值校准结果不确定度评定

1.1 概述

1.1.1 环境条件：环境温度为 22.8 °C，环境相对湿度 15%RH。

1.1.2 测量对象：起重量限制器。

1.1.3 测量标准：万能材料试验机，测量范围（0~60）t，0.5 级。

1.1.4 测量方法：将测量传感器安装在万能材料试验机上，测量传感器连接控制器，按规范要求起重量 2 t 时，记录起重量传感器测量载荷值，重复测量 3 次。

1.2 不确定度分析

1.2.1 测量模型

实验室条件下起重量限制器示值误差的测量模型为：

$$\delta_{LE} = \frac{L_{LM} - L_{LS} + \Delta L_{LWR}}{L_{RS}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

δ_{LE} ——实验室条件下起重量限制器示值误差，t；

L_{LM} ——实验室条件下起重量限制器测量载荷值，t；

L_{LS} ——万能材料试验机施加标准载荷值，t；

ΔL_{LWR} ——起重量限制器测量传感器安装与操作误差，t。

L_{RS} ——起重量限制器最大额定起重量值，t。

1.2.2 不确定度来源

测量不确定度的主要来源有：

- (1) 测量重复性/分辨力引入的标准不确定度；
- (2) 计量标准器引入的标准不确定度；
- (3) 安装偏差引入的标准不确定度。

1.3 校准能力分析

1.3.1 各输入量的标准不确定度分量的评定

1.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u(L_{LM1})$

此测量不确定度为被校准设备所引入的测量不确定度，主要影响因素为测量重复性所引入的测量不确定度分量。在测量不确定度评价的过程中，采用 2 t 额定起重量时的测量重复性作为代表性数据开展测量不确定度的评价，具体数据见表 1。

表 1 1 t 时起重量限制器重复性测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (t)	2.05	2.11	2.01	1.99	2.06	2.00	2.06	2.00	2.05	2.07

采用测量不确定度的 A 类评定方法计算标准不确定度，使用贝塞尔公式计算标准偏差，计算算术平均值的测量不确定度。起重量测量数据的标准偏差 $s=38.6 \text{ kg}$ ，起重量测量重复性所引入的测量不确定度为 $u(L_{LM1})=s/\sqrt{3}=22.3 \text{ kg}$ 。

1.3.1.2 分辨力引入的标准不确定度

测量传感器分辨力为 0.01 t，起重量为 2 t 时，设为均匀分布，按不确定度的 B 类评定方法，有：

$$u(L_{LM2})=\frac{10\text{kg}}{2\sqrt{3}}=2.89 \text{ kg} \quad (2)$$

由于重复性与分辨力都由被检起重量限制器引入，所以二者取最大值便可体现被检起重量限制器引入的不确定度，所以起重量限制器重复性/分辨力引入的标准不确定度分量 $u(L_{LM})=22.3 \text{ kg}$ 。

1.3.1.3 万能材料试验机引入的标准不确定度 $u(L_{LS})$

万能材料试验机选用微机电液伺服万能试验机，经检定，其准确度等级为 0.5 级。在 2 t 处，误差为 $\pm 10 \text{ kg}$ ，半宽为 10 kg，设为均匀分布，按不确定度的 B 类评定方法，有：

$$u(L_{LS})=\frac{10\text{kg}}{\sqrt{3}}=5.77 \text{ kg} \quad (3)$$

1.3.1.4 安装偏差引入的标准不确定度 $u(\Delta L_{LWR})$

安装时，将钢丝绳压紧至测量传感器上，由万能材料试验机对钢丝绳进行拉伸，测量传感器感知钢丝绳传递的载荷变化，经计算得到起重量。此种安装方式测量结果主要受钢丝绳压紧程度、表面磨损、打滑等影响，按经验估计该测量误差在 0.5% 范围内，在 2 t 测量点时，误差为 10 kg，半宽为 5 kg，设为均匀分布，按不确定度 B 类评定方法，有

$$u(\Delta L_{LWR}) = \frac{5\text{kg}}{\sqrt{3}} = 2.89 \text{ kg} \quad (4)$$

1.3.2 各不确定度分量汇总表

表 2 各不确定度分量汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏度系数
$u(L_{LM})$	起重量限制器测量重复性/分辨力引入不确定度分量	22.3 kg	0.0003 kg^{-1}
$u(L_{LS})$	计量标准器引入不确定度分量	5.77 kg	-0.0003 kg^{-1}
$u(L_{LWR})$	安装偏差引入不确定度分量	2.89 kg	0.0003 kg^{-1}

1.3.3 合成标准不确定度

参照不确定度分量汇总表，各分量不相关，合成标准不确定度如下：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(L_{LM}) + c_2^2 u^2(L_{LS}) + c_3^2 u^2(L_{LWR})} = 0.8\% \quad (5)$$

1.3.4 合成扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为： $U=k \times u_c=1.6\%$ 。

1.3.5 各测量点处不确定度评定汇总表

表 3 各测量点处不确定度评定汇总表

测量点 (t)	重复性/分辨力引入的不确定度 (kg)	计量标准器引入的不确定度 (kg)	安装偏差引入的不确定度 (kg)	合成标准不确定度	扩展不确定度
0	27.3	0.00	0.00	0.9%	1.8%
0.5	13.7	1.44	0.72	0.5%	1.0%
1	13.7	2.89	1.44	0.5%	1.0%

1.5	17.1	4.33	2.17	0.6%	1.2%
2	22.3	5.77	2.89	0.8%	1.6%
2.5	17.1	7.22	3.61	0.7%	1.4%
2.85	17.1	8.23	4.11	0.7%	1.4%
3	20.5	8.66	4.33	0.8%	1.6%

二、装机条件下示值校准结果不确定度评定

2.1 概述

2.1.1 环境条件：环境温度为 18.2 °C，环境相对湿度 15%RH。

2.1.2 测量对象：起重量限制器。

2.1.3 测量标准：标准砝码，测量范围（0~10）t，M₁级。

2.1.4 测量方法：将测量传感器安装在起重机上，测量传感器连接控制器，按规范要求 在 0.4 t 测量点处，记录起重量传感器测量载荷值，重复测量 3 次。

2.2 不确定度分析

2.2.1 测量模型

装机条件下起重量限制器示值误差的测量模型为：

$$\delta_{FE} = \frac{L_{FM} - L_{FS} + \Delta L_{FWR}}{L_{RS}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

δ_{FE} ——装机条件下起重量限制器示值误差，t；

L_{FM} ——装机条件下起重量限制器测量载荷值，t；

L_{FS} ——施加的砝码重量值，t；

ΔL_{FWR} ——起重量限制器测量传感器安装及操作偏差，t。

L_{RS} ——起重量限制器最大额定起重量值，t。

2.2.2 不确定度来源

测量不确定度的主要来源有：

- （1）测量重复性/分辨力引入的标准不确定度；
- （2）计量标准器引入的标准不确定度；
- （3）安装及操作偏差引入的标准不确定度。

2.3 校准能力分析

2.3.1 各输入量的标准不确定度分量的评定

2.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u(L_{FM1})$

此测量不确定度为被校准设备所引入的测量不确定度，主要影响因素为测量重复性所引入的测量不确定度分量。在测量不确定度评价的过程中，采用 0.4 t 额定起重量时的测量重复性作为代表性数据开展测量不确定度的评价，具体数据见表 4。

表 4 0.4t 时起重量限制器测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (t)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

采用测量不确定度的 A 类评定方法计算标准不确定度，使用贝塞尔公式计算标准偏差，计算算术平均值的测量不确定度。起重量测量数据的标准偏差 $s=0$ t，起重量测量重复性所引入的测量不确定度为 $u(L_{FM1})=s/\sqrt{3}=0$ t。

2.3.1.2 分辨力引入的标准不确定度 $u(L_{FM2})$

测量传感器分辨力为 0.01 t，在起重量为 0.4 t 时，设为均匀分布，按不确定的 B 类评定方法，可得：

$$u(L_{FM2})=\frac{10\text{kg}}{2\sqrt{3}}=2.89\text{ kg} \quad (7)$$

由于重复性与分辨力都由被检起重量限制器引入，所以二者取最大值便可体现被检起重量限制器引入的不确定度，所以起重量限制器重复性/分辨力引入的标准不确定度分量 $u(L_{FM})=2.89\text{ kg}$ 。

2.3.1.3 计量标准器引入的标准不确定度 $u(L_{FS})$

砝码选用准确度等级为 M_1 级的标准砝码。在 0.4 t 处，误差为 $\pm 0.02\text{ kg}$ ，半宽为 0.02kg，设为均匀分布，按不确定度的 B 类评定方法，有：

$$u(L_{FS})=\frac{0.02\text{kg}}{\sqrt{3}}=0.01\text{ kg} \quad (8)$$

2.3.1.4 安装和操作偏差引入的标准不确定度 $u(\Delta L_{FWR})$

安装时，将钢丝绳压紧至测量传感器上，由起重机通过钢丝绳起吊置于吊

篮中的砝码，测量传感器感知钢丝绳传递的载荷变化，经计算得到起重量。此种安装方式测量结果主要受钢丝绳压紧程度、表面磨损、打滑、标准砝码起吊时的摆动、起吊重物重心的偏移等影响，按经验估计该测量误差在 1.0%范围内，在 0.4 t 测量点时，误差为 4 kg，半宽为 2 kg 设为均匀分布，按不确定度 B 类评定方法，有

$$u(\Delta L_{FWR})=\frac{2\text{kg}}{\sqrt{3}}=1.16\text{ kg}\tag{9}$$

2.3.2 各不确定度分量汇总表

表 5 各不确定度分量汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏度系数
$u(L_{FM})$	起重量限制器测量重复性/分辨力引入不确定度分量	2.89 kg	0.0005 kg^{-1}
$u(L_{FS})$	计量标准器引入不确定度分量	0.01 kg	-0.0005 kg^{-1}
$u(L_{FWR})$	安装及操作偏差引入不确定度分量	1.16 kg	0.0005 kg^{-1}

2.3.3 合成标准不确定度

参照不确定度分量汇总表，各分量不相关，合成标准不确定度如下：

$$u_c=\sqrt{c_1^2u^2(L_{FM})+c_2^2u^2(L_{FS})+c_3^2u^2(L_{FWR})}=0.1\%\tag{10}$$

2.3.4 合成扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为： $U=k\times u_c=0.2\%$ 。

2.3.5 各测量点处不确定度评定汇总表

表 6 各测量点处不确定度汇总

测量点 (t)	重复性/分辨力引入的不确定度 (kg)	计量标准器引入的不确定度 (kg)	安装偏差引入的不确定度 (kg)	合成标准不确定度	扩展不确定度
0.4	2.89	0.02	1.15	0.1%	0.2%
1.5	3.42	0.075	4.33	0.2%	0.4%
3.0	3.42	0.15	8.66	0.3%	0.6%