

《连续累计自动衡器（皮带秤）状态 核查计量技术规范》 测量不确定度分析报告

《连续累计自动衡器（皮带秤）状态核查计量技术规范》

起草小组

2023 年 5 月

模拟载荷试验误差测量结果的不确定度分析与评定

1 概述

1.1 测量依据：JJF XX-20XX 连续累计自动衡器（皮带秤）计量技术规范（征求意见稿）。

1.2 环境条件：温度-10℃～40℃，环境条件稳定、连续累计自动衡器（皮带秤）（以下简称皮带秤）在额定条件下运行，模拟载荷的误差满足 M_1 等级砝码的误差要求。

1.3 核查标准：链码、循环链码、叠加砝码、挂码等模拟载荷。

1.4 被测对象：任意准确度等级的皮带秤，在常用给料流量下运行。

1.5 测量方法：

皮带秤在确定进行状态核查前，应先确定模拟载荷试验参考值。模拟载荷试验参考值的确定，应在物料试验结束后 12 小时内尽快确定。确定模拟载荷试验参考值时，在常用流量下进行三次模拟载荷试验。每次试验前，将皮带秤置零。皮带转动相同的皮带整圈数，累计示值应大于皮带秤的最小累计载荷。若模拟载荷试验参考值的重复性满足模拟载荷试验参考值的重复性要求，则三次累计示值的算术平均值为模拟载荷试验参考值。

将皮带秤置零，使用与确定模拟载荷试验参考值时相同的模拟试验载荷，模拟试验载荷按照皮带每位移单位长度的载荷关系得到，在相同加载方式、相同的流量下以标称皮带速度进行三次模拟载荷试验。皮带转动相同的皮带整圈数，累计示值应大于皮带秤的最小累计载荷。记录模拟载荷试验的累计示值，计算模拟载荷试验累计示值与参考值的偏差。

2 测量模型

$$E = \frac{I - P}{P} \times 100\% \quad (1)$$

式中：E—模拟载荷试验累计示值的偏差

I—模拟载荷试验的累计示值；

P—模拟载荷试验的累计示值参考值；

3 合成的标准不确定度的计算公式

$$u^2(E) = c^2(I)u^2(I) + c^2(P)u^2(P) \quad (2)$$

式中： $u(E)$ —模拟载荷试验累计示值的偏差的测量不确定度；

$u(I)$ —由模拟载荷试验的累计示值引入的不确定度分量；

$u(P)$ —由模拟载荷试验的累计示值参考值引入的不确定度分量；

4 灵敏系数

$$C(I) = \frac{\partial E}{\partial I} = \frac{1}{P}, \quad C(P) = \frac{\partial E}{\partial P} = -\frac{I}{P^2} \quad (3)$$

$$\text{可写作: } C(I) = 1/P, \quad C(P) = -I/P^2 \quad (4)$$

5 标准不确定度评定

5.1 由模拟载荷试验的累计示值引入的标准不确定度分量 $u(I)$ 的评定

不确定度来源主要包括皮带秤进行模拟载荷试验重复性测量和皮带秤分辨力。

5.1.1 皮带秤进行模拟载荷试验重复性测量引入的标准不确定度分量 $u_1(I)$

在重复性测量条件下, 进行 3 次模拟载荷试验, 采用极差法, 计算 $u_1(I)$

$$u_1(I) = \frac{|E_{\max} - E_{\min}|}{C} \quad (5)$$

式中: C —极差系数, 此处 $C=1.69$ 。

5.1.2 皮带秤示值分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(I)$

皮带秤累计分度值为 d_t , 半宽 $a=d_t/2$, 服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则其标准不确定度 $u_2(I)$ 为:

$$u_2(I) = \frac{d_t}{2\sqrt{3}} = 0.29d_t \quad (6)$$

5.1.3 由模拟载荷试验的累计示值引入的标准不确定度合成 $u(I)$

$$u(I) = \sqrt{u_1^2(I) + u_2^2(I)} \quad (7)$$

5.2 模拟载荷试验的累计参考值引入的标准不确定度分量 $u(P)$

模拟载荷累计参考值的确定, 一般是根据三次模拟载荷试验累计重复性试验的示值平均值得到, 使用重复试验示值的重复性进行标准不确定度评价, 则其标准不确定度 $u(P)$ 为:

$$u(P) = \frac{|E_{\max} - E_{\min}|}{C\sqrt{3}} \quad (8)$$

6 标准不确定度汇总

标准不确定度分量汇总见下表 1。

表 1 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	标准不确定度分量来源	标准不确定度分量的 值	灵敏 系数
$u_1(I)$	皮带秤进行模拟载荷试验重复 性测量	$\frac{ E_{\max} - E_{\min} }{C}$	$1/P$
$u_2(I)$	皮带秤的分辨力	$0.29d_t$	
$u(P)$	模拟载荷试验累计参考值	$\frac{ E_{\max} - E_{\min} }{C\sqrt{3}}$	$-I/P^2$

6 合成标准不确定度

全部不确定度分量合成标准不确定度按公式计算：

$$u(E) = \sqrt{c^2(I)u^2(I) + c^2(P)u^2(P)} \tag{9}$$

7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度 $U_r(E)$ 为：

$$U_r(E) = k \times u_c = 2u_c \tag{10}$$

模拟载荷试验误差测量结果的不确定度评定示例

1 概述

1.1 测量依据：JJF XX-20XX 连续累计自动衡器（皮带秤）计量技术规范（征求意见稿）。

1.2 环境条件：温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，环境条件稳定、连续累计自动衡器（皮带秤）（以下简称皮带秤）在额定条件下运行，模拟载荷的误差满足 M_1 等级砝码的误差要求。

1.3 核查标准：链码、循环链码、叠加砝码、挂码等模拟载荷。

1.4 被测对象：连续累计自动衡器（皮带秤）（以下简称皮带秤），准确度等级 1 级，累计分度值 $d=1\text{kg}$ ，最大流量 $Q_{\max}=150\text{ t/h}$ ，称量长度 $W_L=1.2\text{m}$ ，速度 $v=2\text{m/s}$ ，最小累计载荷为 3000kg ，进行模拟载荷试验误差测量结果的测量不确定度。

1.5 测量方法：

皮带秤在进行状态核查前，在物料试验结束后 12 小时内尽快确定模拟载荷试验参考值。确定模拟载荷试验参考值时，在常用流量 100t/h 下进行三次模拟载荷试验。每次试验前，将皮带秤置零。皮带转动相同的皮带整圈数，累计示值应大于皮带秤的最小累计载荷。模拟载荷试验参考值的重复性满足模拟载荷试验参考值的重复性要求，则三次累计示值的算术平均值为模拟载荷试验参考值。

将皮带秤置零，使用与确定模拟载荷试验参考值时相同的模拟试验载荷，模拟试验载荷按照皮带每位移单位长度的载荷关系得到，即：

$$\text{模拟试验载荷 } M=W_L \times Q/v=1.2\text{m} \times 100\text{t/h}/2\text{m/s}=16.7\text{kg}$$

在相同加载方式、相同的流量下以标称皮带速度进行三次模拟载荷试验。皮带转动相同的皮带整圈数，累计示值应大于皮带秤的最小累计载荷。记录模拟载荷试验的累计示值，计算模拟载荷试验累计示值与参考值的偏差。

2 测量模型

$$E = \frac{I-P}{P} \times 100\% \quad (1)$$

式中：E—模拟载荷试验累计示值的偏差

I—模拟载荷试验的累计示值；

P—模拟载荷试验的累计示值参考值；

3 合成的标准不确定度的计算公式

$$u^2(E) = c^2(I)u^2(I) + c^2(P)u^2(P) \quad (2)$$

式中： $u(E)$ —模拟载荷试验累计示值的偏差的测量不确定度；
 $u(I)$ —由模拟载荷试验的累计示值引入的不确定度分量；
 $u(P)$ —由模拟载荷试验的累计示值参考值引入的不确定度分量；

4 灵敏系数

$$C(I) = \frac{\partial E}{\partial I} = \frac{1}{P}, \quad C(P) = \frac{\partial E}{\partial P} = -\frac{I}{P^2} \quad (3)$$

可写作： $C(I) = 1/P, \quad C(P) = -I/P^2 \quad (4)$

5 标准不确定度评定

5.1 由模拟载荷试验的累计示值引入的标准不确定度分量 $u(I)$ 的评定

不确定度来源主要包括皮带秤进行模拟载荷试验重复性测量和皮带秤分辨力。

5.1.1 皮带秤进行模拟载荷试验重复性测量引入的标准不确定度分量 $u_1(I)$

在重复性测量条件下，进行 3 次模拟载荷试验，采用极差法，计算 $u_1(I)$

$$u_1(I) = \frac{|E_{\max} - E_{\min}|}{C} \quad (5)$$

式中： C —极差系数，此处 $C=1.69$ 。

得到试验数据见表 1：

表 1 测量数据

常用流量 Q (t/h)	试验 序号	模拟载荷试验的 累计示值 I (kg)	给料流量 (kg)	极差值 (kg)	标准偏差 $u_1(I)$ (kg)
100	1	4020	100	5	2.96
	2	4015	100		
	3	4018	100		

5.1.2 皮带秤示值分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(I)$

皮带秤累计分度值为 $d_t=1\text{kg}$ ，半宽 $a=d_t/2$ ，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，
则其标准不确定度 $u_2(I)$ 为：

$$u_2(I) = \frac{d_t}{2\sqrt{3}} = 0.29d_t = 0.29\text{kg} \quad (6)$$

5.1.3 由模拟载荷试验的累计示值引入的标准不确定度合成 $u(I)$

$$u(I)=\sqrt{u_1^2(I)+u_2^2(I)}=\sqrt{2.96^2+0.29^2}\text{kg}=2.97\text{kg} \quad (7)$$

5.2 模拟载荷试验的累计参考值引入的标准不确定度分量 $u(P)$

模拟载荷累计参考值的确定，一般是根据三次模拟载荷试验累计重复性试验的示值平均值得到，即：

$$P=\frac{I_1+I_2+I_3}{3} \quad (8)$$

根据重复试验示值的重复性进行标准不确定度评价, 则其标准不确定度 $u(P)$ 为:

$$u(P)=\frac{|E_{\max}-E_{\min}|}{C\sqrt{3}} \quad (9)$$

得到试验数据见表 2：

表 2 测量数据

常用流量 Q (t/h)	试验 序号	模拟载荷试验的 累计示值 I (kg)	给 料 流量 (kg)	模拟载荷试验累 计示值参考值 P (kg)	极差 值 (kg)	标准偏差 $u(P)$ (kg)
100	1	4005	100	4007	4	1.37
	2	4009	100			
	3	4007	100			

6 标准不确定度汇总

灵敏系数为：

$$C(I)=\frac{\partial E}{\partial I}=\frac{1}{P}=\frac{1}{4007\text{kg}}=0.00025\text{kg}^{-1} \quad (10)$$

$$C(P)=\frac{\partial E}{\partial P}=-\frac{I}{P^2}=-\frac{4009\text{kg}}{4007^2\text{kg}^2}=-0.00025\text{kg}^{-1} \quad (11)$$

标准不确定度分量汇总见下表 3。

表 3 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	标准不确定度分 量来源	标准不确定度分量的 值	灵敏系数	$ c_i \,u(X_i)$
$u(I)$	模拟载荷试验的 累计示值	2.97kg	0.00025kg^{-1}	0.00074

$u_1(I)$	皮带秤进行模拟 载荷试验重复性 测量	2.96kg		
$u_2(I)$	皮带秤的分辨力	0.29kg		
$u(P)$	模拟载荷试验累 计参考值	1.37kg	-0.00025kg^{-1}	0.00034

6 合成标准不确定度

全部不确定度分量合成标准不确定度按公式计算：

$$u(E) = \sqrt{c^2(I)u^2(I) + c^2(P)u^2(P)} = 0.08\% \quad (12)$$

7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度 $U_r(E)$ 为：

$$U_r(E) = k \times u_c = 2 \times 0.08\% = 0.16\% \quad (13)$$

《连续累计自动衡器（皮带秤）状态核查计量技术规范》起草小组