

拉力、压力和万能试验机负荷示值误差 测量结果的不确定度评定

绍兴市质量技术监督检测院 黄梁

【摘要】结合工作实践情况，针对拉力、压力和万能试验机负荷示值误差测量结果的不确定度进行分析

【关键词】负荷示值误差 测量结果 不确定度评定

一、概述

1. 测量方法：依据 JJG139-2014《拉力、压力和万能试验机检定规程》。
2. 环境条件：温度（10~35）℃，检定过程中温度波动不大于 2℃/h。
3. 测量标准：0.3 级标准测力仪，相对扩展不确定度 $U_{95}=0.15\%$ ，年稳定度为±0.3%。
4. 被测对象：拉力、压力和万能材料试验机，测量范围 2.5kN~10MN，相对最大允许误差为±1.0%。
5. 测量过程：在规定环境条件，使用试验机对标准测力仪施加负荷至测量点，可得到与标准力值相对应的试验机负荷示值，该过程连续进行 3 次，以 3 次示值的算术平均值减去标准力值，即得该测量点试验机的示值误差。
6. 评定结果的使用，在符合上述条件且测量范围在 1000kN 以下的试验机，可直接使用本不确定度的评定结果，其他可使用本不确定度的评定方法。

二、建立数学模型

$$\Delta F = \bar{F} - F[1 + k(t - t_0)]$$

式中： ΔF -----试验机的示值误差；

\bar{F} -----试验机 3 次示值的算术平均值；

F -----标准测力仪上的标准力值；

k -----标准测力仪的温度修正值；

t -----标准测力仪定度温度；

t_0 -----检定时的温度。

三、输入量的标准不确定度评定

1. 输入量 \bar{F} 的标准不确定度 $u(\bar{F})$ 评定

输入量 \bar{F} 的不确定度来源主要是试验机的重复性，采用 A 类方法进行评定。

对一台 1000kN 的试验机，选择满量程为 20% 作为测量点，连续测量 10 次，得到测量列如表 1 所示。

表 1 单次测量值

序号 (i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值 (kN)	200.4	200.6	200.4	200.8	200.6	200.4	200.6	200.8	200.8	200.4

其算术平均值：

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i = 200.54(kN)$$

验标准差：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{n-1}} = 0.18(kN)$$

任意选择 3 台同类型试验机，每台分别在满量程的 20%，50%，80% 负荷点进行测试。每点在重复性条件下连续测量 10 次，共得到 9 组测量值，每组测量值分别按上述方法计算得到验标准差，如表 2 所示。

表 2 实验标准偏差计算结果

检测点	20%量程	50%量程	80%量程
单位 (kN)	200	500	800
实验标准差 s_i (kN)	$S_1:0.18$	$S_2:0.20$	$S_3:0.21$
	$S_4:0.22$	$S_5:0.19$	$S_6:0.24$
	$S_7:0.19$	$S_8:0.18$	$S_9:0.23$

合并样本标准差为：

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} = 0.20(kN)$$

实际测量情况，在重复条件下连续测量 3 次，以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，可得到：

$$u(\bar{F}) = \frac{S_p}{\sqrt{3}} = \frac{0.20}{\sqrt{3}} = 0.12(kN)$$

2. 输入量 F 的标准不确定度 $u(F)$ 的评定

输入量 F 的不确定度主要来源于标准测力仪。可根据检定证书给予的相对扩展不确定度、年稳定度评定，即 B 类方法进行评定。

标准测力仪检定证书给予的相对扩展不确定度 $U_{95}=15\%$ ，包含因子 $k=1.98$ ，年稳定度为 $\pm 0.3\%$ ，估计为均匀分布，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。在测量点 200kN 处，标准不确定度为：

$$u(F_1) = \frac{a}{k}(1000 \times 20\%) = \frac{0.15\%}{1.98}(1000 \times 20\%) = 0.15kN$$

$$u(F_2) = \frac{a}{k}(1000 \times 20\%) = \frac{0.3\%}{\sqrt{3}}(1000 \times 20\%) = 0.35kN$$

$$u(F) = \sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2} = \sqrt{(0.15)^2 + (0.35)^2} = 0.38kN$$

3. 输入量 t 的标准不确定度 $u(t)$ 的评定

输入量 t 的标准不确定度主要为测量过程中的实验室温度波动，温度计的示值误差可忽略。实验室温度波动不大于 $2^\circ\text{C}/\text{h}$ ，故 $a=2^\circ\text{C}$ 。

按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，得标准不确定度为： $u(t) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{2^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 1.16^\circ\text{C}$

四、合成标准不确定度评定

1. 灵敏系数

$$\text{数学模型 } \Delta F = \bar{F} - F[1 + k(t - t_0)]$$

$$\text{灵敏系数 } c_1 = \frac{\partial \Delta F}{\partial \bar{F}} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta F}{\partial F} = -[1 + k(t - t_0)];$$

$$c_3 = \frac{\partial \Delta F}{\partial t} = -F \cdot k, \quad c_4 = \frac{\partial \Delta F}{\partial k} = -F(t - t_0)。$$

根据 JJG144-1992《标准测力仪检定规程》，检定温度为 $15^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ ，根据 JJG139-1999《拉力、压力和万能试验机检定规程》，测力仪使用温度为 $10^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ ，

取 $t_0 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 温度修正系数 $k=0.00027/^{\circ}\text{C}$, $F=200\text{kN}$ 。则

$$c_1 = 1, c_2 = -1.0054, c_3 = -1.0054\text{kN}/^{\circ}\text{C}, c_4 = -4000\text{kN}/^{\circ}\text{C}。$$

2. 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于表 3。

表 3 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i \cdot u(x_i)$
$u(\bar{F})$	被检器具的重复性	0.12kN	1	0.12kN
$u(F) = \sqrt{u(F_1)^2 + u(F_2)^2}$	$u(F_1)$: 证书给予的不确定度 $u(F_2)$: 证书给予的年稳定度	0.38kN	-1.0054	0.38kN
$u(t)$	温度波动的不确定度	1.16 $^{\circ}\text{C}$	-0.054kN/ $^{\circ}\text{C}$	0.063kN
$u(k)$	温度修正系数由于修约而导致的 不确定度	2.89 $\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	-4000kN/ $^{\circ}\text{C}$	0.12kN

3. 合成标准不确定度计算

输入量 \bar{F} 、 F 、 t 与 k 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式得到：

$$\begin{aligned} u_c^2(\Delta F) &= \left[\frac{\partial \Delta F}{\partial \bar{F}} \cdot u(\bar{F}) \right]^2 + \left[\frac{\partial \Delta F}{\partial F} \cdot u(F) \right]^2 + \left[\frac{\partial \Delta F}{\partial t} \cdot u(t) \right]^2 + \left[\frac{\partial \Delta F}{\partial k} \cdot u(k) \right]^2 \\ &= [c_1 \cdot u(\bar{F})]^2 + [c_2 \cdot u(F)]^2 + [c_3 \cdot u(t)]^2 + [c_4 \cdot u(k)]^2 \end{aligned}$$

$$\text{故, } u_c(\Delta F) = \sqrt{0.12^2 + 0.38^2 + 0.063^2 + 0.12^2} = 0.42\text{kN}$$

五、扩展不确定度的评定

扩展不确定度 U 为：

$$U = k \cdot u_c(\Delta F) = 2 \times 0.42 = 0.84\text{kN}$$

在 20%量程处，相对扩展不确定度为：

$$U_{rel} = 0.84kN / (1000 \times 20\%) = 0.42\%$$

六、扩展不确定度的报告与结论

试验机各测量点测量结果的相对扩展不确定度分别为 20%处：

$$U_{rel} = 0.42\% , k = 2$$

同理计算出：

$$50\%处：U_{rel} = 0.41\% , k = 2$$

$$80\%处：U_{rel} = 0.40\% , k = 2$$

参考文献

JJG139-2014 《拉力、压力和万能试验机》 中国质检出版社 2014 年 11 月第一版

JJG1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》 中国质检出版社 2013 年 2 月第一版