

高速列车用轴向力测试设备示值误差的测量不确定度评定示例

B.1 概述

B.1.1 校准依据

高速列车用轴向力测试设备校准规范

B.1.2 环境条件

温度（22.4~22.6）℃，相对湿度：54.7%，校准过程中，温度变化为 0.2℃。

B.1.3 测量标准

轴力传感器：测量范围（5~50）kN，准确度级别 0.5 级。

B.1.4 测量方法

在规定环境条件下，使用 0.5 级轴力传感器测量轴向力测试设备在设定测量点下的应力值，每个测量点使用 10 颗测试螺栓，以 10 次轴力传感器测量值 $F_i (i = 1, 2, 3)$ 的算术平均值作为轴向力测试设备的实测值 \bar{F} ，以 10 次轴向力测试设备输出 $F_{1j} (j = 1, 2, 3)$ 的算术平均值作为轴向力测试设备的显示值 \bar{F}_1 。

B.2 数学模型

$$\bar{F} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} F_i \dots\dots\dots (B.1)$$

$$\bar{F}_1 = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} F_j \dots\dots\dots (B.2)$$

$$\delta = \bar{F}_1 - \bar{F} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

δ ——示值误差；

\bar{F} ——轴向力测试设备的实测值，kN；

\bar{F}_1 ——轴向力测试设备的显示值，kN；

B.3 不确定度来源分析

- ① 轴力传感器引入的标准不确定度分量 u_b ；
- ② 由于各种随机因素影响导致的轴向力测量重复性引入的标准不确定度分量 u_R ；
- ③ 由分辨力引入的标准不确定度分量 u_x ；

B.4 标准不确定度评定

B.4.1 按 A 类方法评定的标准不确定度分量：

由于各种随机因素影响导致的轴向力测试设备测量重复性引入的标准不确定度分量 u_R 。以 8.8 级，M10 螺栓为例，取 10 颗测试螺栓，在重复条件下使用合适量程的拧紧工具拧紧至 50Nm，得到轴向力测试设备的测量结果如表 B.1 所示。

表 B.1 轴向力测试设备测量结果

测量次数	1	2	3	4	5
测量结果(kN)	17.68	17.77	17.54	17.15	17.74
测量次数	6	7	8	9	10
测量结果(kN)	17.23	17.65	17.22	17.75	17.54

根据实际测量数据可知，该规格螺栓在 50Nm 拧紧作用下，得到轴向力测试设备测量结果的算数平均值为 $\bar{F} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} F_i = 17.527 \text{ kN}$ ，使用贝塞尔公式计算出标准偏差作为测量重复性引入的标准不确定度应按公式 (B.4) 进行计算：

$$s_{F_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (B.4)$$

可得 s_{F_i} 为 0.240 kN，实际测量以 3 次测量的平均值作为测量结果，标准不确定度分量应按公式 (B.5) 进行计算：

$$u_R = \frac{s_{F_i}}{\sqrt{3}} = 0.139 \text{ kN} \dots\dots\dots (B.5)$$

B.4.2 按 B 类方法评定的标准不确定度分量：

B.4.2.1 由轴力传感器的最大允许误差带来的标准不确定度分量 u_b ：

已知轴力传感器的最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ ，在半宽区间内服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则轴力传感器引入的标准不确定度分量应按公式 (B.6) 进行计算：

$$u_b = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} \times \bar{F} = 0.051 \text{ kN} \dots\dots\dots (B.6)$$

B.4.2.2 由被校轴向力测试设备显示分辨力引入的标准不确定度分量 u_x ：

已知被校轴向力测试设备的分辨力 $\delta_x = 0.01 \text{ kN}$ ，区间半宽度 $a = \frac{\delta_x}{2}$ ，假设为均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则由分辨力引起的标准不确定度分量应按公式 (B.7) 进行计算：

$$u_x = \frac{a}{k} = \frac{\delta_x}{2\sqrt{3}} = 0.003 \text{ kN} \dots\dots\dots (B.7)$$

由于重复性引入的标准不确定度分量大于被校设备的分辨力所引入的不确定度分量，因此可不考虑分辨力所引入的不确定度分量。

B.4.3 合成标准不确定度

不确定度分量综合表见表 B.2。

表 B.2 不确定度分量综合表

序号	不确定度分量来源	评定方法	符号	u_i 的值	u_c
1	测量重复性	A 类	u_R	0.139 kN	0.09 kN
2	标准器引入	B 类	u_b	0.051 kN	

由于各分量间不相关，则轴向力测试设备示值误差测量结果的合成标准不确定度应按公式 (B.8) 进行计算：

$$u_c = \sqrt{u_R^2 + u_b^2} = \sqrt{0.139^2 + 0.051^2} = 0.15 \quad \text{..... (B.8)}$$

B.5 扩展不确定度

轴向力测试设备的扩展不确定度应按公式 (B.9) 进行计算：

$$U_r = k u_c = 0.30 \text{ kN } (k=2) \quad \text{..... (B.9)}$$