

关于钢卷尺比对测量结果不确定度评定的探讨

谢爱能

(广州市从化质量技术监督检测所 广东 广州 510925)

摘要: 依据 JJF 1117-2010《计量比对》计量技术规范, 参比实验室在规定条件下, 对相同等级钢卷尺进行量值复现, 并给出测量结果, 通过该测量结果与参考值比较, 分析参比实验室的检定/校准能力, 各参比实验室给出的测量结果不确定度在归一化偏差 En 值中起着举足轻重的作用。

关键词: 钢卷尺; 比对测量; 不确定度; 检验

1 试验方法

由主导实验室给出的比对方案, 参比实验室依据 JJG4-2015《钢卷尺》检定规程及比对方案规定的条件, 对传递标准为 10m 的 I 级钢卷尺测量 2m、4m、6m、8m、10m 五个测量点, 最终给出测量点的示值误差和不确定度评定。

2 不确定度来源分析

由于钢卷尺的性质, 热胀冷缩在细微长度测量中有明显的影响作用。标准钢卷尺的检定结果是在接近标准状态 20℃ 的环境中, 经激光干涉仪检测并算得的实际长度, 而比对测量中, 是按规程将标准钢卷尺与被测钢卷尺置于 5m 或 10m 的检定台上, 在规定的检定环境中比较两把钢卷尺的实际长度。根据检定方法, 先估计不确定度来源, 主要有:

(1) 来自于标准器: ①标准钢卷尺标准值的不确定度 u_1 ; ②标准钢卷尺偏离标准温度 20℃ 时, 实验室温度波动度引入的不确定度 u_2 ; ③读数显微镜分度值引入的不确定度分量 u_3 ; ④标准钢卷尺拉力偏差引入的不确定度分量 u_4 。

(2) 人为因素: ①检定钢卷尺时的读数引入的不确定度分量 u_5 ; ②测量重复性引起的不确定度分量 u_6 。

(3) 来自于被检钢卷尺: ①线纹宽度引入的不确定度分量 u_7 ; ②被检钢卷尺拉力偏差引入的不确定度分量 u_8 。

3 标准钢卷尺标准值的不确定度 u_1 的分析

规程中规定: 检定台的长度应不小于 5m, 当被检尺全长大于检定台的长度时, 可用分段法进行检定, 全长偏差为各段偏差的代数和。实验室的检定台通常分两种, 5m 和 10m(对应 5m 和 10m 标准钢卷尺)。当检定台是 10m 时, 10m 标准钢卷尺检定 10m 钢卷尺, 由标准钢卷尺标准值引入的不确定度 u_1 此时不存在。

当检定台是 5m 时, 5m 检定台检定 10m 钢卷尺需要分成 (0 ~ 5)m 和 (5 ~ 10)m 两段, 全长偏差为两段偏差的代数和, 此时标准钢卷尺标准值的不确定度 u_1 不应被忽略。根据检定证书, 标准钢卷尺修正值的扩展不确定度 $U=5 \mu m+5 \times 10^{-6} L$,

包含因子 $k=2$ 。由于标准钢卷尺为 5m, 5m 以上的测量需以 5m 点为零位重新对零, 读 6m 时由 5m 和 1m 合成, 读 8m 时由 5m 和 3m 合成, 读 10m 时由两个 5m 合成。

4 标准钢卷尺偏离标准温度 20℃ 时, 实验室温度波动

引入的不确定度 u_2 的分析

鉴于微小长度对温度的敏感性, 比对测量中, 各参比实验室的环境温度控制能力对测量钢卷尺实际长度有明显的影响。当检定温度偏离标准温度 20℃ 时, 由温度引起的不确定度在温度差 Δt 范围内服从均匀分布, 根据参比实验室实际情况评估实验室温度波动度, 此处取温度波动度 $\pm 1.5^\circ\text{C}$, 分布半宽为 1.5°C ,

包含因子 k 为——, 由检定证书给出的标准钢卷尺 20℃ 时的实际长度 L , 以及温度线膨胀系数 $\alpha=11.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, 因此, $u_2=L \times 10 \times \alpha \times a/$

检定时, 先在读数显微镜下对好标准钢卷尺和被检钢卷尺“零位中线”, 在读数显微镜下读标准钢卷尺和被检钢卷尺的刻度差, 包含了读数仪器的不确定度及对线不确定度。

读数仪器的不确定度, 读数显微镜的最大允许误差为 $\pm 0.010\text{mm}$, 估计呈均匀分布, 故单次读数的不确定度为: $u_{31}=0.010\text{mm}/\text{——}=0.0058\text{mm}$ 。读数需要对

零位及被检刻度二次读数, 最终: $u_{31}=0.0058 \times \text{——}=0.0082\text{mm}$ 。

在读数时先对刻度线中心, 被检钢卷尺线宽越宽, 人为分辨误差越大, 读数时中心线对齐不确定度 u_{32} , 此时与线纹宽度引入的不确定度分量 u_6 存在重复。I 级钢卷尺线纹宽度要求在 0.15 ~ 0.50mm, 不同厂家生产的钢卷尺其线宽各异, 此处取中间值 0.35mm, 对中心线时可估读到 1/5, 即 0.07mm, 检定时需对齐零位和测量点两次, 估计呈均匀分布, 不确定度为: $u_{32}=\text{——} \times 0.07\text{mm}/=0.057\text{mm}$ 。

以上两项不相关, 合成计算 $3=u_{31}+u_{32}$, 得: $u_3=0.058\text{mm}$ 。

5 标准钢卷尺拉力偏差引入的不确定度分量 u_4 的分析

依据规程 JJG741-2005《标准钢卷尺检定规程》, 由拉力引起的偏差为: $\Delta=L \times 10^3 \times \frac{\Delta p}{9.8 \times E \times F}$ 其中, 拉力偏差 $\Delta p \leq 0.5\text{N}$, 弹性系数 $E=20000\text{kg/mm}$, 尺的横截面积 $F=(\text{宽度})12\text{mm} \times (\text{厚度})0.22(\text{mm})$, 估计呈均匀分布, 取 k 为——。

6 检定钢卷尺时的读数引入的不确定度分量 u_5 的分析

当检定台是 10m 时, 10m 标准钢卷尺检定 10m 钢卷尺, 由检定钢卷尺时的读数引入的不确定度分量 u_5 此时不存在。

标准钢卷尺为 5 m 时，1m 至 5m 的测量也不存在由检定钢卷尺时的读数引入的不确定度分量 u_5 。测量 5m 以上时，示值误差为二次独立测量结果代数和，二次测量不相关，因此 6m 由 1m 与 5m 合成，即由 1m 至 5m 的读数显微镜分度值引入的不确定度分量 u_3 合成。

7 测量重复性引起的不确定度分量 u_6 的分析

测量重复性引起的不确定度分量 u_6 = 重复实验测得样本标准偏差 $S(x_k)$ ，测量 3 次的重复性用极差法计算 $S(x_k)=(Max-Min)/1.64$ ，得表 1：

表 1 重复性引起的不确定度分量数据

测量点	原始读数 (mm)			平均值 (mm)	重复性 U_6 (mm)
	读数 1(mm)	读数 2(mm)	读数 3(mm)		
2 m	2000.05	2000.04	2000.04	2000.04	0.006
4 m	3999.92	3999.93	3999.93	3999.93	0.006
6 m	6000.07	6000.06	6000.06	6000.06	0.006
8 m	7999.96	7999.95	7999.96	7999.96	0.006
10 m	9999.91	9999.90	9999.89	9999.90	0.012

比较以上三、五、六点，由于测量重复性引起的不确定度分量 u_6 小于检定钢卷尺时的读数引入的不确定度分量 u_5 ，也小于读数显微镜分度值引入的不确定度分量 u_3 ，且重复性包含了读数引入的不确定度，因此重复性引起的不确定度分量 u_6 不计入合成标准不确定度。

8 线纹宽度引入的不确定度分量 u_7 的分析

线纹宽度引入的不确定度分量 u_7 在第三点读数显微镜分度值引入的不确定度分量 u_3 的分析已论述。

9 被检钢卷尺拉力偏差引入的不确定度分量 u_8 的分析

不确定度合成及扩展不确定度。综合上述八点，传递标准为 10m 的 I 级钢卷尺测量 2m、4m、6m、8m、10m 五个测量点时，各测量点不确定度如下：

(1) 检定台为 10m 时，有温度波动引入的不确定度 u_2 、读数显微镜分度值引入不确定度分量 u_3 ；标准钢卷尺拉力偏差引入的不确定度分量 u_4 ；检定钢卷尺时的读数引入的不确定度分量 u_5 ；被检钢卷尺拉力偏差引入的不确定度

分量 u_8 ；合成不确定度 u_c ，扩展不确定度 U ，如表 2：

表 2 钢卷尺拉力偏差引入的不确定度分量数据

测量点	u_2 (mm)	u_3 (mm)	u_4 (mm)	u_5 (mm)	u_8 (mm)	u_c (mm)	$U(k=2)$ (mm)
2 m	0.02	0.058	0.001	/	0.001	0.061	0.13
4 m	0.04	0.058	0.002	/	0.002	0.071	0.15
6 m	0.06	/	0.003	0.082	0.003	0.102	0.21
8 m	0.08	/	0.004	0.082	0.004	0.115	0.23
10 m	0.10	/	0.006	0.082	0.006	0.130	0.26

(2) 检定台为 5m 时，有标准钢卷尺标准值值引入的不确定度 u_1 ，温度波动引入的不确定度 u_2 、读数显微镜分度值引入不确定度分量 u_3 ；标准钢卷尺拉力偏差引入的不确定度分量 u_4 ；检定钢卷尺时的读数引入的不确定度分量 u_5 ；被检钢卷尺拉力偏差引入的不确定度分量 u_8 ；合成不确定度 u_c ，扩展不确定度 U 。

10 结语

在实际测量中，钢卷尺应用的准确性将直接影响最终测量结果的准确性和各项工程的竣工质量，对工程的设计、计算和施工都会产生一定的影响。然而，实际上，在进行测量工作时，很难确保测量结果的准确值。因此，在进行测量工作之前，技术人员需要分析和控制影响钢卷尺测量精度的各种因素，本文对钢卷尺示值误差测量结果不确定度评定的分析和探讨，可为相关使用者提供有益的参考。

参考文献：

[1] 陶香琴. 标准钢卷尺测量结果不确定度评估 [J]. 中国计量, 2005, 02(2):66-66.
[2] 陈振锋. 参加 CNAS 能力验证计划钢卷尺示值误差测量结果的不确定度评定 [J]. 中国计量, 2013(02):88-90.
[3] 曹然伟. 浅谈计量比对 [J]. 中国科技博览, 2014(17):340-340.

作者简介：谢爱能（1979.11-），女，汉族，广东从化人，本科，计量工程师，研究方向：计量测试技术。

