

钢卷尺检定方法及示值误差测量结果的不确定度评定

马晓晨 房永强 余泽利 魏 康 张曙香
西安汉唐分析检测有限公司 陕西 西安 710200

【摘要】通过对钢卷尺及基本特性的描述, 以及对 JJG 4-2015 《钢卷尺检定规程》中检定方法的描述, 钢卷尺示值误差的不确定度评定中应根据检定台长度、被检尺级别和长度等因素进行综合分析, 本文以 II 级 10m 钢卷尺后续检定为例, 分析不确定度来源, 计算各分量不确定度评定, 评定示值误差测量结果的不确定度。

【关键词】示值误差; 钢卷尺; 不确定度

钢卷尺广泛应用于生产生活、建筑装修、工程测量、贸易结算等领域, 也是居民家庭必备工具之一, 用于尺寸和距离的测量, 已成为线纹量值传递系统中直接关系到国计民生的重要计量器具。为了保证钢卷尺量值准确可靠, 应避免弯折、磨损尺带, 保持尺带清洁, 防止生锈, 并按计量检定规程要求定期检定。

1 钢卷尺结构及基本特性

钢卷尺分为摇卷盒式卷尺、摇卷架式卷尺、自卷式卷尺、自卷制动式卷尺及数显盒式卷尺等类型, 将一条具有一定弹性的弧形尺带或平尺带, 卷于金属或塑料材料的尺盒或框架上, 均匀刻画线纹作为长度标识, 通过盘式弹簧及控制尺带自动收卷的按钮等装置, 尺带伸缩灵活。通常尺带末端留有一定余量, 尺带始端装有拉环或尺钩, 应注意有时始端并不是“0”点, 防止测量读数错误。

钢卷尺尺带收卷与拉出控制装置应无阻滞失灵, 尺带伸缩应灵活、无卡阻现象。尺带表面应无划痕、无锈斑、无折痕、无脱皮等缺陷, 尺带线纹刻度应清晰完整并垂直到尺边, 无漏线、无磨损、无重线。

2 钢卷尺示值误差检定方法

钢卷尺任意两个非连续刻度之间和全长的示值误差采用比较测量方法进行检定。将标准钢卷尺与被检尺的尺带平铺在检定台上(检定台长度不小于 5m), 保持平行, 标准钢卷尺最大允许误差为 $\pm(0.03\text{mm}+3\times 10^{-5}L)$, L 为四舍五入的整米数。当被检钢卷全长大于检定台长度时, 应采用分段法进行检定, 如有可能采用标准钢卷尺不同段与被检尺相比测量, 以避免测量结果的相关性。通过压紧装置将尺带紧固, 将被检尺和标准钢卷尺零值线纹中心对齐, 并在检定台的另一端分别施加拉力, 标准钢卷尺施加的拉力应根据溯源证书确定, 当检定台长度小于 20m 时, 被检尺施加的拉力为 $(49\pm 0.5)\text{N}$, 否则被检尺应施加拉力为 $(98\pm 0.5)\text{N}$ 。

钢卷尺分为 I 级和 II 级两个级别。I 级钢卷尺在检定过程中, 标准钢卷尺必须加修正值使用, 应采用 0.01mm 的读数显微镜来读取受检点偏差。II 级钢卷尺

首次检定过程中, 标准钢卷尺也应加修正值使用, 也采用 0.01mm 的读数显微镜读取受检点的偏差, 在后续检定中, 标准钢卷尺不加修正值, 目力估读受检点的偏差即可。

JJG 4-2015 《钢卷尺》检定规程中规定, 测量结果修约到 0.1mm, 钢卷尺示值误差公式按下式计算:

$$\Delta L = L - (L_{s20} + \delta L)$$

式中:

L —— 被检钢卷尺检定点的标称长度 (mm);

L_{s20} —— 标准钢卷尺 20℃ 时的长度 (mm);

δL —— 在标准钢卷尺上读得的被检钢卷尺受检点的偏差 (mm)。

3 钢卷尺示值误差测量结果的不确定度评定

3.1. 概述

被检对象为 II 级 10m 钢卷尺, 依据为 JJG 4-2015 《钢卷尺》检定规程, 按后续检定方法进行, 实际检定环境温度 21.0℃, 以 10m 点示值误差的不确定度作为评定最终测量结果。检定台长度为 10m, 标准钢卷尺长度为 10m。依据检定规程和标准钢卷尺溯源证书, 对标准钢卷尺和被检钢卷尺分别施加 49N 张紧力, 在标准钢卷尺不加修正值的情况下, 目力估读 10m 受检点的偏差。与标准钢卷尺比较测量, 选择被检尺相应检定点测量, 读取偏差值记录测量结果。

3.2. 数学模型

数学模型为:

$$\Delta L = L - (L_{s20} + \delta L)$$

3.3 标准不确定度的评定

3.3.1 检定结果的重复性引入的标准不确定度

检定结果的重复性引入的标准不确定度由计量标准、配套设备、环境条件、等因素及实际被测量的随机变化等因素的综合反映。通过重复性实验数据, 采用贝塞尔公式计算得, 重复性为 $s = 0.04\text{mm}$, 被检钢卷尺示值误差检定时仅测量一次, 因此检定结果的重复性引入的不确定度分量为

$$u_{11}=0.04\text{mm}。$$

被检钢卷尺分度值为 1mm，分辨力为分度值的一般即为 0.5mm。按 B 类评定，区间半宽为 $a = 0.25\text{mm}$ ，按均匀分布置信因子 $k = \sqrt{3}$ ，则被检钢卷尺分辨力引入的标准不确定度为

$$u_{12}=a/k = 0.25\text{mm}/\sqrt{3} = 0.14\text{mm}$$

检定结果的重复性和钢卷尺的分辨力引入的不确定度取较大者，所以检定结果的重复性引入的不确定度分量舍去，只考虑由被检钢卷尺的分辨力引入的不确定度分量 $u_{12}=0.14\text{mm}$ 。

3.3.2 标准钢卷尺在不加修正值使用的情况下，其示值误差引入的标准不确定度

根据 JJG 741-2005《标准钢卷尺》，标准钢卷尺在大于 1 米的测量中，最大允许误差为 $\pm(0.03+0.03L)\text{mm}$ ，所以 10m 检定点的示值最大允许误差是 $\pm 0.33\text{mm}$ ，半宽为 0.33mm，按均匀分布计算包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则 L 以 10m 代入，标准钢卷尺示值误差引入的标准不确定度为

$$u_2=0.33\text{mm}/\sqrt{3} = 0.19\text{mm}$$

序号	不确定度来源	符号	标准不确定度分量 (mm)
1	检定结果的重复性引入的 (舍去)	u_{11}	0.04mm
	钢卷尺分辨力引入的	u_{12}	0.14mm
2	标准钢卷尺不加修正值使用，其示值误差引入的	u_2	0.19mm
3	偏离标准 20℃ 时，尺带线膨胀系数引入的	u_3	0.02mm
4	标准钢卷尺和被检钢卷尺温度不同引入的	u_4	0.01mm

3.5. 合成标准不确定度的计算

上述各不确定度分量不相关，计算被检钢卷尺 10m 检定点的合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_{12}^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.24\text{mm}$$

3.6. 扩展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$ ，被检钢卷尺 10m 检定点的扩展不确定度为：

$$U=k \times u_c = 2 \times 0.24\text{mm} = 0.48 \approx 0.5\text{mm}$$

3.7. 测量不确定度的报告与表示

II 级钢卷尺 10m 检定点在后续检定时 (检定台长度为 10m)，其示值误差的测量结果的扩展不确定度为 $U=0.5\text{mm}$ ， $k=2$ 。

4 不确定度评定注意事项

根据钢卷尺的长度，其对应检定点示值误差测量结果的不确定度评定需要区别对待，因为每个检定点对

3.3.3 偏离标准 20℃ 时，钢卷尺尺带的线膨胀系数引入的标准不确定度

标准钢卷尺与被检钢卷尺的尺带的线膨胀系数 α 均为 $(11.5 \pm 2) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，按 B 类评定，则半宽 a 为 $2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，假设为均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，实验温度为 21.0℃，温度偏离标准温度 20℃，即 $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ ，10m 检定点以 $L=10\text{m}$ 代入，得

$$u_3=L \times 10^3 \times a \times \Delta t / \sqrt{3} = 0.02\text{mm}$$

3.3.4 标准钢卷尺和被检钢卷尺温度不同引入的标准不确定度 u_5

检定规程要求，标准钢卷尺和被检定钢卷尺应在温度达到平衡后再进行检定，但在实际检定时，两者必然存有一定温度差，假定温度差 Δt 在 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 范围内均匀分布，按 B 类评定，半宽 a 为 0.1°C ，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则 10m 检定点 $L=10\text{m}$ 代入，线膨胀系数以 $\alpha = 11.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 代入，得

$$u_4=L \times 10^3 \times a \times \alpha / \sqrt{3} = 0.01\text{mm}$$

3.4. 标准不确定度汇总表

应标准钢卷尺引入的标准不确定度不同。根据检定台的长短，施加张紧力不同，同时尺带受力的长短与示值误差也有关系，因此必要时还应考虑施加张紧力及张紧力的偏差引入的标准不确定度。当被检钢卷尺大于检定台的长度时，进行分段检定时，示值误差数学模型相应变化，同时考虑并处理使用同一段标准钢卷尺检定引入的相关性问题。根据检定 I 级和 II 级钢卷尺时标准钢卷尺是否加修正值使用，此时标准钢卷尺引入的标准不确定度也有所不同，更应考虑采用读数显微镜和目力估读引入的标准不确定度。

5 结束语

II 级钢卷尺 10m 检定点在后续检定时 (检定台长度为 10m)，其示值误差的测量结果的扩展不确定度 $U=0.5\text{mm}$ ， $k=2$ ，满足量值传递要求。同时检定钢卷尺时，应根据被检钢卷尺的级别、标准钢卷尺溯源信息，以及检定台的长度确定具体检定方法，以保证钢卷尺量值准确可靠。

【参考文献】

- [1]JJG 4-2015《钢卷尺检定规程》，国家质量监督检验检疫总局。
- [2]JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》，国家质量监督检验检疫总局。