

木直(折)尺测量不确定度评估

李凌梅 张欣 胡建华 路瑞军 陈洁
(天津计量监督监测科学研究院 天津 300192)

摘要: 依据 JJG2—1999《木直(折)尺检定规程》,详细论述了木直(折)尺的不确定度评定的步骤与方法,按照校准方法、数学模型、方差和传播系数、标准不确定度、合成不确定度以及扩展不确定度计算的顺序编写。用木直尺检定器测定时,在(0~500)mm 范围 $U=0.33$ mm、 $k=2$;在(0~1 000)mm 范围 $U=0.37$ mm、 $k=2$,木直折尺示值误差的检定一般在木直尺检定器或钢直尺上进行。

关键词: 木直(折)尺;木直(折)尺检定器;不确定度

中图分类号: TH711 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 410.55

Measurement uncertainty of wood(folded)ruler

Li Lingmei Zhang Xin Hu Jianhua Lu Ruijun Chen Jie
(Tianjin Institute of Metrological Supervision and Testing, Tianjin 300192, China)

Abstract: This article is based on the JJG2—1999 《wood(folded)ruler verification regulation》. It contains the step and method of measurement uncertainty and discusses the calibration method, mathematics model, variance transmission coefficient, standard uncertainty, combined standard uncertainty and expanded measurement uncertainty in order.

Keywords: wood(folded)ruler ; wood(folded)ruler calibrator; uncertainty

1 引言

在现代化的测量工具和多样化的测量手段充斥的时代,木直(折)尺作为一种传统的测量工具在服饰剪裁等领域仍具有方便易学,精准安全等不可替代的作用。

木直折尺是主要用于测量纺织品、木材和其他物品长度的计量器具。通常用质地较好的薄木板、铝合金或塑料等材料制成。折尺可以折叠,携带方便,价廉实用。现代社会,木直折尺作为一种传统的特色测量工具,在国内外已经具有收藏价值,其精度和稳定性也是决定其收藏价值的一个重要考量因素。

该文基于 JJG2—1999《木直(折)尺检定规程》对木直(折)尺的不确定度进行了分析计算。

2 不确定度评估

2.1 测量方法

木直(折)尺的示值误差是用钢直尺或在专用木直尺检定器的平台(或3级平尺)上与木直尺检定器及附带的专用塞尺(或2级塞尺)配合进行检定。

2.2 数学模型

$$\Delta L = L(1 + \alpha \Delta t) - L_g(1 + \alpha_g \Delta t) = L - L_g - L_g(\alpha \Delta t - \alpha_g \Delta t)$$

$$\text{取 } \Delta \alpha = \alpha_g - \alpha$$

因 $L - L_g$ 很小,所以 $(L - L_g)\alpha_g \Delta t$ 忽略不计。

$$\text{则 } \Delta L = L - L_g + L_g \Delta \alpha \Delta t$$

式中: ΔL 为被测木直(折)尺的长度示值误差,单位:mm; L 为被测木直(折)尺的长度,单位:mm; L_g 为做标准用的钢直尺的长度,单位:mm; α 为木直(折)尺的膨胀系数, $1/^\circ\text{C}$; α_g 为作标准用的钢直尺的膨胀系数, $1/^\circ\text{C}$; $\Delta \alpha$ 为被测的木直(折)尺与标准用的尺的膨胀系数差, $1/^\circ\text{C}$ 。

2.3 方差和传播系数

$$\text{依 } \mu_c^2(y) = \sum [\partial f(\partial x_i)]^2 \mu_c^2(x_i)$$

$$\text{得: } \mu_c^2 = \mu^2(\Delta L) = C^2(L)\mu^2(L) + C^2(L_g)\mu^2(L_g) + C^2(\Delta \alpha)\mu^2(\Delta \alpha) + C^2(\Delta t)\mu^2(\Delta t)$$

$$\text{式中: } C(L) = \partial f / \partial L = 1$$

$$C(L_g) = \frac{\partial f}{\partial L_g} = -1$$

$$C(\Delta \alpha) = \frac{\partial f}{\partial (\Delta \alpha)} = L_g \Delta t \approx 0$$

收稿日期:2015-01

$$C(\Delta t) = \frac{\partial f}{\partial(\Delta t)} = L_g \Delta \alpha$$

$$\text{则 } \mu_c^2 = \mu^2(\Delta L) = \mu^2(L_g) + \mu^2(L) + (L_g \Delta \alpha)^2 \mu^2(\Delta t)$$

2.4 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $U(X_i)$	不确定度来源	数值
$\mu(L)$	测量重复性	0.1 mm
$\mu(L_{g1})$	标准用钢直尺 不确定度	0.066 mm
$\mu(L_{g2})$	木直尺检定器 不确定度	0.113 mm
$\mu(L_{g3})$	钢卷尺不确定度	0.01 mm/0.014 mm
$\mu(\Delta t)$	温度偏离 20℃	5.77℃

2.5 分量标准不确定度

2.5.1 由测量重复性给出的不确定度分量 $\mu(L)$

测量重复性由 10 次重复测量得到标准差:

$$S = 0.1 \text{ mm} = \mu(L)$$

2.5.2 作标准用的钢直尺和木直尺检定器的测量不确定度给出的分量

1) 钢直尺的测量不确定度给出的分量 $\mu(L_{g1})$

根据规程 JJG1—1999《钢直尺》检定规程 $L = 1000 \text{ mm}$ 时钢直尺的示值误差是 $\pm 0.2 \text{ mm}$ 在界限内接近正态分布 $K = 3$

$$\mu(L_{g1}) = 0.2/3 \approx 0.066 \text{ mm}$$

2) 木直尺检定器的测量不确定度给出的分量 $\mu(L_{g2})$

根据木直尺检定器给出的两量爪工作面的

$$\text{平面度 } \Delta_1 = 0.03 \times 2 = 0.06 \text{ mm}$$

$$\text{平行度 } \Delta_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$\text{平台直线度 } \Delta_3 = 0.1 \text{ mm}$$

$$\text{零位误差 } \Delta_4 = \pm 0.1 \text{ mm}$$

$$\text{综合示值误差 } \Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2} = 0.34 \text{ mm}$$

在误差界内接近正态分布 $k = 3$

$$\mu(L_{g2}) = \Delta/3 \approx 0.113 \text{ mm}$$

3) 一级钢卷尺的测量不确定度给出的分量 $\mu(L_{g3})$

一级钢卷尺示值误差查证书得:

$$\delta = \pm(10+10L)\mu\text{m 按正态分布处理, 置信因子 } k = 3$$

当 $L = 2000 \text{ mm}$ 时:

$$\mu(L_{g3}) = \frac{(10+10 \times 2)}{3} = 0.01 \text{ m}$$

当 $L = 3000 \text{ mm}$ 时:

$$\mu(L_{g3}) = \frac{(10+10 \times 3)}{3} = 0.014 \text{ m}$$

2.5.3 温度偏离标准温度 20℃ 估计的分量

1) 钢直尺的膨胀系数 $\alpha_g = 11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

木直(折)尺的膨胀系数 $\alpha = 3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

$$\Delta \alpha = \alpha_g - \alpha = 8.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

假设检定时的环境温度为 $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$, 认为温度在半宽为 $10 ^\circ\text{C}$ 范围内服从均匀分布。

$$\text{故 } \mu(\Delta t) = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77 ^\circ\text{C}$$

当 $L = 500 \text{ mm}$ 时:

$$|C(\Delta t)| \mu(\Delta t) = L_g \Delta \alpha \mu(\Delta t) = 500 \times 8.5 \times 10^{-6} \times 5.77 = 0.025 \text{ mm}$$

当 $L = 1000 \text{ mm}$ 时:

$$|C(\Delta t)| \mu(\Delta t) = L_g \Delta \alpha \mu(\Delta t) = 1000 \times 8.5 \times 10^{-6} \times 5.77 = 0.049 \text{ mm}$$

2) 木直尺检定器的量爪间距是在硅铝合金底座上, 因此在计算时要考虑底座与木直(折)尺两者膨胀系数的。

硅铝合金膨胀系数 $\alpha_g = 22 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

木直(折)尺膨胀系数 $\alpha = 3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

认为温度在半宽为 $10 ^\circ\text{C}$ 范围内服从均匀分布

$$\mu(\Delta t) = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77 ^\circ\text{C}$$

当 $L = 500 \text{ mm}$ 时:

$$|C(\Delta t)| \mu(\Delta t) = L_g \Delta \alpha \mu(\Delta t) = 500 \times 19 \times 10^{-6} \times 5.77 = 0.0548 \text{ mm}$$

当 $L = 1000 \text{ mm}$ 时:

$$|C(\Delta t)| \mu(\Delta t) = L_g \Delta \alpha \mu(\Delta t) = 1000 \times 19 \times 10^{-6} \times 5.77 = 0.1096 \text{ mm}$$

3) 钢卷尺的膨胀系数 $\alpha_g = 11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

木直(折)尺的膨胀系数 $\alpha = 3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

$$\Delta \alpha = \alpha_g - \alpha = 8.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

假设检定时的环境温度为 $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$

认为温度在半宽为 $10 ^\circ\text{C}$ 范围内服从均匀分布

$$\text{故 } \mu(\Delta t) = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77 ^\circ\text{C}$$

当 $L = 2000 \text{ mm}$ 时:

$$|C(\Delta t)| \mu(\Delta t) = L_g \Delta \alpha \mu(\Delta t) = 2000 \times 8.5 \times 10^{-6} \times 5.77 = 0.098 \text{ mm}$$

当 $L = 3000 \text{ mm}$ 时:

$$|C(\Delta t)| \mu(\Delta t) = L_g \Delta \alpha \mu(\Delta t) = 3000 \times 8.5 \times 10^{-6} \times 5.77 = 0.163 \text{ mm}$$

2.6 合成标准不确定度

$$\mu_c^2(\Delta L) = \mu^2(L) + \mu^2(L_{g1}) + (L_g \Delta \alpha)^2 \mu^2(\Delta t)$$

1) 用钢直尺做标准检测时

当 $L = 500 \text{ mm}$:

$$\mu_c(\Delta L_1) = \sqrt{\mu^2(L) + \mu^2(L_{g1}) + (L_g \Delta \alpha)^2 \mu^2(\Delta t)} = \sqrt{(0.1)^2 + (0.066)^2 + (0.025)^2} = 0.124 \text{ mm}$$

当 $L = 1000 \text{ mm}$:

$$\mu_c(\Delta L_1) = \sqrt{\mu^2(L) + \mu^2(L_{g1}) + (L_g \Delta \alpha)^2 \mu^2(\Delta t)} = \sqrt{(0.1)^2 + (0.066)^2 + (0.049)^2} = 0.130 \text{ mm}$$

2) 用木直尺检定器检测时

当 $L=500$ mm:

$$\mu_c(\Delta L_2) = \sqrt{\mu^2(L) + \mu^2(L_{g1}) + (L_g \Delta \alpha)^2 \mu^2(\Delta t)} = \sqrt{(0.101)^2 + (0.113)^2 + (0.0548)^2} = 0.161 \text{ mm}$$

当 $L=1\ 000$ mm:

$$\mu_c(\Delta L_2) = \sqrt{\mu^2(L) + \mu^2(L_{g2}) + (L_g \Delta \alpha)^2 \mu^2(\Delta t)} = \sqrt{(0.101)^2 + (0.113)^2 + (0.1096)^2} = 0.187 \text{ mm}$$

3)用钢卷尺做标准检测时

当 $L=2\ 000$ mm:

$$\mu_c(\Delta L_3) = \sqrt{\mu^2(L) + \mu^2(L_{g3}) + (L_g \Delta \alpha)^2 \mu^2(\Delta t)} = \sqrt{(0.101)^2 + (0.01)^2 + (0.098)^2} = 0.141 \text{ mm}$$

当 $L=3\ 000$ mm:

$$\mu_c(\Delta L_3) = \sqrt{\mu^2(L) + \mu^2(L_{g3}) + (L_g \Delta \alpha)^2 \mu^2(\Delta t)} = \sqrt{(0.101)^2 + (0.014)^2 + (0.163)^2} = 0.192 \text{ mm}$$

2.7 扩展不确定度

1)用钢直尺做标准测定时

当 $L=500$ mm:

$$U_1 = k \times 0.124 = 0.25 \text{ mm} \quad k=2$$

当 $L=1\ 000$ mm:

$$U_1 = k \times 0.130 = 0.26 \text{ mm} \quad k=2$$

2)用木直尺检定器测定时

当 $L=500$ mm:

$$U_2 = k \times 0.161 = 0.33 \text{ mm} \quad k=2$$

当 $L=1\ 000$ mm:

$$U_2 = k \times 0.187 = 0.37 \text{ mm} \quad k=2$$

3)用钢卷尺做标准测定时

当 $L=2\ 000$ mm:

$$U_3 = k \times 0.141 = 0.29 \text{ mm} \quad k=2$$

当 $L=3\ 000$ mm:

$$U_3 = k \times 0.192 = 0.39 \text{ mm} \quad k=2$$

3 结论

示值误差的测量结果不确定度的报告与表示:

1)用钢直尺和钢卷尺做标准测定时

在(0~500) mm 范围 $U=0.25$ mm $k=2$

在(0~1 000)mm 范围 $U=0.26$ mm $k=2$

在(0~2 000)mm 范围 $U=0.29$ mm $k=2$

在(0~3 000)mm 范围 $U=0.39$ mm $k=2$

2)用木直尺检定器测定时

在(0~500) mm 范围 $U=0.33$ mm $k=2$

在(0~1000)mm 范围 $U=0.37$ mm $k=2$

木直折尺示值误差的检定一般在木直尺检定器或钢直尺上进行。木直尺检定器用钢直尺作为标准,其优于钢直尺检定的地方是方便固定木直折尺的测量量爪,而用钢直尺测量时要考虑其固定的问题。另外,木直折尺检定器的量爪间距是在硅铝合金底座上,因此在计算时要考虑底座与木直(折)尺两者膨胀系数。此外由于空间限制,大于1 m的木直折尺一般用一级钢卷尺进行比较检定。

参考文献

- [1] 中国计量科学研究院. JJG2-1999 木直(折)尺检定规程[S]. 北京:中国计量出版社,1999.
- [2] 中国计量测试学会计量名词专业委员会. JJF1001-1998 通用计量术语及定义[S]. 北京:中国计量出版社,1998.
- [3] 中国计量科学研究院. JJF1059-1999 测量不确定度评定与表示[S]. 北京:中国计量出版社,1999.
- [4] 张钟华. 量子计量基准的现状[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(1):1-5.
- [5] 王利军. 小议现阶段长度计量技术[J]. 中国科技博览, 2012, (27):299-299.
- [6] 殷元利. 长度计量技术浅析[J]. 计量与测试技术, 2011, 38(7):26-27.
- [7] 李存龙, 陈伟民, 章鹏, 等. 正弦调制型微波测距系统的不确定度分析[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(1): 23-29.

作者简介

李凌梅,工学硕士,助理工程师,天津计量监督监测科学研究院长度室量具组。

张欣,工程师,天津计量监督监测科学研究院长度室量块组。

胡建华,高级工程师,天津计量监督监测科学研究院长度室量具组组长。

路瑞军,高级工程师,天津计量监督监测科学研究院长度室主任。

陈洁,助工,天津计量监督监测科学研究院长度室量块组。