

# 纤维卷尺测量结果分析

李凌梅 刘佳丽 陈洁 胡建华

(天津市计量监督检测科学研究院 天津 300192)

**摘要:**论述了纤维卷尺的历史溯源和量值溯源。依据 JJG5-2001《纤维卷尺、测绳检定规程》,详细论述了纤维卷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。并将其扩展不确定度与规程规定的最大允许误差作比较,得出此测量方法可行的结论。并提出了高精度玻璃纤维卷尺的发展方向。

**关键词:**纤维卷尺;最大允许误差;不确定度;可行性

**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 result analysis of fiber tapes

Li Lingmei Liu Jiali Chen Jie Hu Jianhua

(Tianjin Institute of Metrological Supervision and Testing, Tianjin 300192, China)

**Abstract:** This paper discusses the history and traceability of fiber tapes. According to JJG5-2001 "Fiber Tapes and Measuring Ropes 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. Comparing the extended uncertainty with the maximum permissible error, we get the feasible conclusion of this test method. At the end it proposes the development direction of high-precision glass fiber tapes.

**Keywords:** fiber tapes; maximum permissible error; uncertainty; feasibility

### 1 引言

在世界科技发明史册上,中国发明了世界第一把卷尺。公元 1578 年左右,安徽省古徽州的程大位发明了现代卷尺的原型“丈量步车”,他因此被誉为“卷尺之父”。“丈量步车”虽然外形较现在的卷尺庞大,其原理、构造、用途和现代卷尺相一致,确是现代卷尺的雏形。并且他在《直指算法统宗》中有完整的制作过程图示和说明,方便后人仿制。

纤维卷尺是一种测量长度的工具。一般用于土木工程、市政交通、民用及其他方面长度尺寸的测量。纤维卷尺的主要结构由带钩或拉环尺头、纤维尺带、摇柄、尺盒或金属(塑料)架等组成。其材质通常是 PVC 塑料。纤维卷尺俗称皮尺,布尺,或是裁缝尺、量衣尺等。在我国的南方和香港地区通常称为软尺或拉尺<sup>[1]</sup>。

本文基于 JJG5-2001《纤维卷尺、测绳检定规程》对纤维卷尺的不确定度进行了分析计算,并且将扩展不确定度

与最大允许误差进行可行性分析,提出了高精度玻璃纤维卷尺的发展方向。

### 2 不确定度评估

#### 2.1 测量原理、方法和依据

依据 JJG5-2001《纤维卷尺、测绳》检定规程规定,纤维卷尺示值误差的检定是将被检布卷尺和 I 级钢卷尺平铺在检定台上,并分别加以相应的拉力后,被检尺与 I 级标准钢卷尺进行比较测量。两者之差为被检尺的示值误差。测量时瞄准和读数用目力直接估读<sup>[2-3]</sup>。

#### 2.2 建立数学模型

1) 数学模型如下:

$$\Delta L = L_a - L_s \quad (1)$$

式中: $L_a$  为被检卷尺的长度, $L_s$  为 I 级钢卷尺的长度。

2) 方差和灵敏度系数如下:

$$u_c^2(y) = \sum \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$$

收稿日期:2017-06

$$u_c^2 = u^2(\Delta L) = c^2(L_a)u^2(L_a) + c^2(L_s)u^2(L_s) \quad (2)$$

式中： $c(L_a) = \frac{\partial f}{\partial L_a} = 1$ ， $c(L_s) = \frac{\partial f}{\partial L_s} = -1$ 。

则：

$$u_c^2 = u^2(\Delta L) = u^2(L_a) + u^2(L_s) \quad (3)$$

### 2.3 测量不确定度来源

测量不确定度来源如表1所示。

表1 测量不确定度一览表

标准不确定度分量名称 $u(x_i)$	不确定度分量来源	标准不确定度数值 $u(x_i)$	$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$	$ c_i  \times u(x_i) / \text{mm}$
$u(L_{s1})$	I级钢卷尺的测量不确定度	0.35		
$u(L_{s2})$	年稳定性给出的不确定度	0.058	-1	0.35
$u(L_{s3})$	拉力偏差	0.0032		
$u(L_{a1})$	测量重复性	0.10		
$u(L_{a2})$	拉力偏差	0.167	1	0.22
$u(L_{a3})$	温度变化	0.093		

### 2.4 测量不确定度分量计算

2.4.1 由I级钢卷尺的测量不确定度给出的分量  $u(L_s)$

1) 由I级钢卷尺的测量不确定度给出的分量  $u(L_{s1})$

根据钢卷尺检定规程的规定，I级钢卷尺最大允许误差  $MPE = \pm(0.1 + 0.1L)$  mm 即当  $L = 5$  m 时， $\Delta_{\text{示}} = \pm(0.1 + 0.5) = \pm 0.6$  mm，以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(L_{s1}) = 0.6 / \sqrt{3} = 0.35 \text{ mm} \quad (4)$$

2) 由年稳定度给出的不确定度分量  $u(L_{s2})$

根据4年的周期检测，I级钢卷尺0~5 m年变化量在  $\pm 0.1$  mm。因属半宽度为  $0.1$  mm<sup>[4]</sup>的均匀分布，覆盖因子  $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(L_{s2}) = 0.1 / \sqrt{3} = 0.058 \text{ mm} \quad (5)$$

3) 由拉力偏差给出的不确定度分量  $u(L_{s3})$

由拉力引起的偏差为：

$$\Delta = \frac{L \times 10^3 \times \Delta p}{9.8EF} \quad (6)$$

式中： $L$  为I级钢卷尺的长度， $\Delta p$  为拉力偏差，由规程JJG4—2015《钢卷尺》中给出  $\Delta p \leq 1$  N， $E$  为弹性系数  $E = 20\ 000$  kg/mm<sup>2</sup>， $F$  为钢卷尺尺带横截面面积，该尺的尺带横截面宽度为  $12$  mm，厚度为  $0.22$  mm， $F = 2.64$  mm<sup>2</sup><sup>[5]</sup>。

$$\Delta = \frac{L \times 10^3 \times 1}{9.8 \times 20\ 000 \times 2.64} = 19.32 \times 10^{-4} \times L$$

当  $L = 5$  m 时， $\Delta = 19.32 \times 10^{-4} \times 5 = 0.0097$  mm。

在  $\Delta p \leq 1$  N 时拉力偏差服从正态分布，覆盖因子  $k = 3$ ，则：

$$u(L_{s3}) = 0.0097 / 3 = 0.0032 \text{ mm} \quad (7)$$

标准不确定度  $u(L_s)$  为：

$$u^2(L_s) = u^2(L_{s1}) + u^2(L_{s2}) + u^2(L_{s3}) = 0.35^2 + 0.058^2 + 0.0032^2 = 0.125 \text{ mm}^2$$

$$u(L_s) = 0.35 \text{ mm} \quad (8)$$

2.4.2 由被检纤维卷尺给出的不确定度  $u(L_a)$

1) 由测量重复性产生的不确定度分量  $u(L_{a1})$

测量重复性是由被检尺与标准尺比较测量<sup>[6]</sup>，等精度独立重复测量10次得到一组数据。

$$u(L_{s1}) = \sigma_{n-1} = 0.10 \text{ mm} \quad (9)$$

2) 由拉力偏差给出的不确定度分量  $u(L_{s2})$

根据QB1519-1992《纤维卷尺行业标准》及JJG5-2001《纤维卷尺、测绳检定规程》规定。在拉力作用下尺带的伸长量  $\Delta \leq 0.2$  mm/(m·N)。在  $\Delta p \leq 0.5$  N 时，拉力偏差服从正态分布<sup>[7]</sup>，覆盖因子  $k = 3$ ，因此，当  $L = 5$  m； $\Delta p \leq 0.5$  N 时， $\Delta = 0.5$  mm，则：

$$u(L_{s2}) = 0.5 / 3 = 0.167 \text{ mm} \quad (10)$$

3) 由温度偏离标准温度  $20^\circ\text{C}$  估算的不确定度分量  $u(L_{a3})$

I级钢卷尺热膨胀系数为  $\alpha = 11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，纤维卷尺的热膨胀系数为  $\alpha = 5.04 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，两者热膨胀系数差值的名义值为  $6.46 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，即  $\Delta\alpha = 6.46 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。

设I级钢卷尺与被检纤维卷尺具有相同的温度且大致等于环境温度，环境温度为  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ， $\Delta t = \pm 5^\circ\text{C}$ ，认为  $\Delta t$  在半宽为  $5^\circ\text{C}$  范围内服从均匀分布。故：

$$u(\Delta t) = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2.89^\circ\text{C} \quad (11)$$

当  $L = 5$  m 时，温度误差影响为：

$$L_s \cdot \Delta\alpha \cdot u(\Delta t) = 5\ 000 \times 6.46 \times 10^{-6} \times 2.89 = 0.093 \text{ mm} \quad (12)$$

标准不确定度  $u(L_a)$  如下：

$$u(L_a)^2 = u(L_{a1})^2 + u(L_{a2})^2 + u(L_{a3})^2 = 0.1^2 + 0.167^2 + 0.093^2 = 0.047$$

$$u(L_a) = 0.22 \text{ mm} \quad (13)$$

### 2.5 合成标准不确定度计算 $u_c$

根据上述标准不确定度分量间互不相关性<sup>[8]</sup>，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u^2(L_s) + u^2(L_a)} = \sqrt{0.35^2 + 0.22^2} = 0.4 \text{ mm} \quad (14)$$

当被检纤维卷尺的标称长度大于  $5$  m 时，可采用分段方法进行检测<sup>[9]</sup>，其标准不确定度为各段标准不确定度的方和根值与各段接口标准不确定度方和根值的代数和。

$$u_{c(1-n)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{ci}^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^n u_{ji}^2} \quad (15)$$

式中： $u_{ci}$  为各段标准不确定度值， $u_{ji}$  为各段接口标准不确定度值。

当  $L=5$  m 时， $u_c=0.4$  mm；当  $L=10$  m 时， $u_c = \sqrt{0.4^2+0.4^2} + \sqrt{0.10^2} = 0.7$  mm；当  $L=30$  m 时， $u_c = \sqrt{6 \times 0.4^2} + \sqrt{5 \times 0.10^2} = 1.2$  mm。

### 2.6 扩展不确定度的计算 $U$

当  $L=5$  m 时，则扩展不确定度为：

$$U=k \times u_c k=2 \times 0.4=0.8 \text{ mm}$$

当  $L=10$  m 时，则扩展不确定度为：

$$U=k \times u_c k=2 \times 0.7=1.4 \text{ mm}$$

当  $L=30$  m 时，则扩展不确定度为：

$$U=k \times u_c k=2 \times 1.2=2.4 \text{ mm}$$

### 3 测量方法可行性分析

根据 JJG5-2001《纤维卷尺、测绳》检定规程，I 级纤维卷尺的最大允许误差是  $\pm(0.6+0.4L)$  mm 取  $k=2$  时，

$$L=5 \text{ m 时, } MPE=2.6 \text{ mm, } U=0.8 \text{ mm;}$$

$$L=10 \text{ m 时, } MPE=4.6 \text{ mm, } U=1.4 \text{ mm;}$$

$$L=30 \text{ m 时, } MPE=12.6 \text{ mm, } U=2.4 \text{ mm.}$$

由上面计算出的扩展不确定度，即校准测量能力  $U < MPEV/3$  所以此规程提出的测量方法是可行的<sup>[10]</sup>。

在实际检定校准过程中，操作如下：如客户送检一把 5 m 的纤维卷尺，用 I 级钢卷尺对其进行校准，测得其示值误差为 2.0 mm。根据规程长为 5 m 的 I 级纤维卷尺的最大允许误差是 2.6 mm，所以出具检定证书可判定此纤维卷尺符合 I 级<sup>[11]</sup>。出具校准证书需注明：此纤维卷尺的示值误差为 2.0 mm，扩展不确定度为  $U=0.8$  mm， $k=2$ 。说明此纤维卷尺以 95% 的概率落在  $(2.0 \pm 0.8)$  mm 区间<sup>[12]</sup>。

### 4 结论

在现代化的测量工具和多样化的测量手段充斥的世界，纤维卷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。通常其携带方便，价廉实用<sup>[13]</sup>。

为了提高纤维卷尺的精度，目前生产出一种由新材料、用新工艺制造的高精度玻璃纤维卷尺，现已由中日合作研制成功，并批量生产。玻璃纤维能减小卷尺在使用时的拉伸，增加整条纤维卷尺的强度<sup>[14]</sup>。高精度玻璃纤维卷尺的精度和使用寿命等方面略高于钢卷尺，外形与一般皮尺相同，使用手感比皮尺好，尺面亮丽，制作成本却略低于钢卷尺。高精度玻璃纤维卷尺是纤维卷尺新的发展方向<sup>[15]</sup>。

### 参考文献

[1] 程银宝,陈晓怀,王汉斌,等.基于精度理论的测量不确定度评定与分析[J].电子测量与仪器学报,2016,

30(8):1175-1182.

[2] 叶建华,高诚辉,江吉彬.旋转台几何误差的在机测量与辨识[J].仪器仪表学报,2015,36(12):2804-2811.

[3] 张伟昆.测试性分析与评估体系的研究[J].国外电子测量技术.2015,34(5):38-43.

[4] 邓欣,刘晓东,李保军,等.隔水管振动导致的 ADCP 流速测量误差分析[J].国外电子测量技术,2015,34(9):26-28.

[5] 史永彬,于蒙,李迪.示波器测量脉冲信号测量结果的不确定度分析与评定[J].国外电子测量技术,2016,35(3):50-53.

[6] 韩先平.大气折射误差快速修正方法研究[J].电子测量技术,2016,39(5):57-60.

[7] 陈沛,贺旭东.基于灵敏度分析的隔振器模型修正方法[J].国外电子测量技术,2016,35(4):38-41.

[8] 王瑞宝.基于蒙特卡洛法的微波功率测量不确定度评定[J].国外电子测量技术,2015,34(7):28-31.

[9] 葛欣宏,刘遒,蔚素升,等.25 Hz~10 kHz 电源线传导发射的测量不确定度评定方法研究[J].国外电子测量技术,2015,34(7):43-46.

[10] 宁飞,贺庚贤,葛欣宏.星载设备电源线传导发射的测量不确定度评定方法[J].电子测量技术,2016,39(1):80-83.

[11] 胡冬梅,宋路,牛国成.基于支持向量机的波片相位延迟测量新方法[J].仪器仪表学报,2016,37(7):1517-1523.

[12] 陈自然,刘小康,郑永,刘浩.精密位移动态测量信号特征辨识及细分新方法研究[J].仪器仪表学报,2015,36(10):2224-2230.

[13] 蒋薇,张圻,FERRERO,等.随机模糊变量表示测量及测量不确定度[J].仪器仪表学报,2016,37(5):1065-1078.

[14] 王德元,唐文彦,张晓琳,等.基于标准器的大尺寸测量系统坐标统一化方法[J].仪器仪表学报,2015,36(8):1845-1852.

[15] 贾果欣,熊星庭,刘柏灵.一种轴孔自动测量系统的溯源方法的研究[J].电子测量与仪器学报,2015,29(5):754-759.

### 作者简介

李凌梅,1982 年出生,硕士,主要研究方向为测试计量技术及仪器,长度几何量计量与检定。

E-mail:tjllm333@126.com

刘佳丽,1959 年出生,副高,研究方向为长度几何量计量与检定。

陈洁,1983 年出生,工程师,研究方向为长度几何量计量与检定。

胡建华,1964 年出生,副高,研究方向为长度几何量计量与检定。