

非绒面纺织品的火焰蔓延时间不确定度分析

侯兵兵, 张弘康, 黄怡婧

(上海市质量监督检验技术研究院, 上海 200040)

摘要: 为提高非绒面纺织品阻燃性能测试结果的准确性, 对纺织品燃烧性能不确定度进行评估。依据GB/T 14644-2014《纺织品燃烧性能45°方向燃烧速率的测定》的相关方法, 采用火焰蔓延时间来评定织物的燃烧性能。以纯棉织物为例, 对测试过程中不确定度来源进行了分析比较, 并对不确定度分量进行评定及合成。研究表明: 水洗前后火焰蔓延时间的扩展不确定度分别为0.38s和0.42s, 测试过程中不确定度主要来源于试验重复性、计时器示数误差和火焰高度, 其中试验重复性对不确定度影响最大。

关键词: 棉; 燃烧性能; 不确定度; 45°法; 火焰蔓延时间

中图分类号: TS197

文献标识码: A

文章编号: 2095-414X(2019)04-0026-05

随着科技的发展, 人民生活水平的提高, 纺织品的燃烧性能越来越受人们重视, 许多国家都制定了相应的标准和技术法规, 分别对服装类(儿童睡衣、消防服等)、装饰类(如窗帘、汽车内饰等)、产业纺织品(土工布、滤布等)等纺织品的阻燃性能做出了规定。因此纺织品的阻燃性能也作为纺织品质量的一个重要考核指标, 一般来说, 纺织品燃烧性能测定按照GB/T 14644^[1]、GB/T 5455^[2]、GB/T 5454^[3]、16CFR1615/1616^[4]、ASTM D6545^[5]等标准进行评定。然而在测定织物燃烧性能时, 必然会带来测量误差, 与真实数据存在偏差, 因此对纺织品燃烧性能不确定度评定就很有意义。而且测量不确定度也是对测量结果好坏的一个度量, 还是定量测量结果质量好坏的一个重要参数, 是评定实验室检测质量控制水平的重要依据之一^[6]。

本文以非绒面纯棉织物为例, 主要依据GB/T 14644-2014《纺织品 燃烧性能 45°方向燃烧速率的测定》, 对水洗前后纺织品的火焰蔓延时间测量结果进行评定和分析, 为实验室判定测量结果的有效性和准确性提供方法和依据, 对处于合格边缘产品的判定有一定的指导意义^[7,8]。

1 试验

1.1 试验材料与仪器

试验材料: 3m×3m的非绒面纯棉织物。

试验仪器: Memmert UNB400型自然对流电热烘箱(德国Mettler公司)、干燥器、YG(B)815D-IV型织物阻燃性能测试仪(小45°法)(温州大荣纺织仪器有限公司)、钢直尺(500±1)mm。

1.2 试验方法

1.2.1 试样制备

选取一块3m×3m的纯棉织物, 并进行预实验。以织物燃烧速率最快的方向为长度方向, 用钢直尺量取尺寸为160mm×50mm的试样, 数量为20块。

1.2.2 洗前试验步骤

根据GB/T 14644-2014《纺织品 燃烧性能 45°方向燃烧速率的测定》。首先将量取好的试样放置在试样夹中, 并放入105℃±3℃条件下干燥30min±2min, 然后放置在干燥器内冷却不少于30min, 接着将试样置于试验架上进行燃烧试验, 观察燃烧状态, 并记录火焰蔓延时间, 测试次数为10次。每次试验结束后, 需打开排风系统将试验中产生的烟气排出。

1.2.3 洗后试验步骤

按照 GB/T 8629^[9]中规定，采用 A 型洗衣机，40℃正常搅拌程序对样品进行 1 次洗涤，然后摊平晾干。然后按照 1.2.2 试验步骤测试洗涤后的燃烧性能。

1.3 数学模型和不确定度来源分析

依据试验原理，火焰蔓延时间不确定度评估的数学模型为：

$$T=t$$

(1)

式中：T—火焰蔓延时间，s；t—计时器示数，s。

1.4 不确定度来源分析

对测量方法、测量系统和测量程序分析研究可知，影响纺织品火焰蔓延时间的各种不确定度分量来源如图 1 所示。

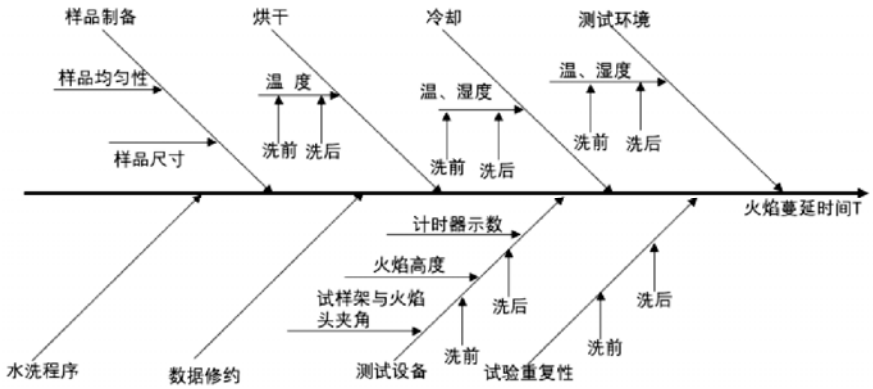


图 1 纺织品火焰蔓延时间不确定度来源

1.4.1 样品均匀性和尺寸引起的不确定度

样品的均匀性和尺寸对织物的火焰蔓延时间有一定影响。但是，一般来说，对于同一批次、同一块样品可认为样品是均匀的。此外，试样的大小主要是为了更稳定、平整的放置在试样架内，在此可以忽略其产生的影响。

1.4.2 试验条件引起的不确定度

纺织品燃烧性能的不确定度测定的试验条件包括样品烘干、冷却、温湿度等，试验条件的变化一定程度上会影响织物火焰蔓延时间，但由于影响较小，可认为体现在测量重复性中，即 A 类不确定分量。

1.4.3 仪器参数引起的不确定度

数学模型不能直接体现各种仪器参数，但仪器参数对试验结果的影响均可体现在 B 类评定的测量不确定度中。

1.4.4 其他因素引起的不确定度

包括数据修约引起的 B 类不确定度分量。其次水洗过程会对火焰蔓延时间有一定影响，但样品都是同批次水洗，可以认为体现在测量重复性中。

2 不确定度量化

2.1 试验重复性引起的 A 类不确定度分量

由同一试验人员在同一条件下洗前和洗后分别独立重复进行 10 次燃烧性能试验，观察并记录计时器示数如表 1 和表 2 所示。

依据贝塞尔公式可知，其标准偏差为：

$$\text{洗前: } S(t_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_i - \bar{t}_1)^2}{n-1}} = 0.5087$$

(2)

$$\text{洗后: } S(t_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_i - \bar{t}_2)^2}{n-1}} = 0.5633$$

(3)

计时器示数平均值 $\bar{t}$ 的 A 类标准不确定度为：

洗前：
$$\bar{u}_{t_1} = \frac{S(t_1)}{\sqrt{n}} = 0.1609 \tag{4}$$

洗后：
$$\bar{u}_{t_2} = \frac{S(t_2)}{\sqrt{n}} = 0.1781 \tag{5}$$

表 1 棉织物 45° 法燃烧性能洗前重复性试验测试

试验序号	计时器示数 t/s	试验序号	计时器示数 t/s
1	16.8	6	17.5
2	17.2	7	16.0
3	16.4	8	16.9
4	17.3	9	16.9
5	16.5	10	17.6

$$\bar{t}_1 = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} t_i = 16.9$$

表 2 棉织物 45° 法燃烧性能洗后重复性试验测试

试验序号	计时器示数 t/s	试验序号	计时器示数 t/s
1	16.5	6	17.3
2	16.0	7	16.6
3	15.8	8	15.7
4	17.1	9	16.4
5	16.9	10	15.9

$$\bar{t}_2 = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} t_i = 16.42$$

相对标准不确定度为：

洗前：
$$u_{rel} \bar{t}_1 = \frac{u(\bar{t}_1)}{\bar{t}_1} = 9.52 \times 10^{-3} \tag{6}$$

洗后：
$$u_{rel} \bar{t}_2 = \frac{u(\bar{t}_2)}{\bar{t}_2} = 10.85 \times 10^{-3} \tag{7}$$

其自由度为 n-1=9，自由度反映不确定度评定的好坏程度，自由度越大，评定越可靠^[10]。

2.2 计时器示数误差引起的 B 类不确定度分量

由于点火时间和火焰蔓延时间均由计时器计时，本次评定中均作为计时器示数误差引起的 B 类不确定度分量。

经上海市质量监督检验技术研究院检定（检定证书编号：J1844200235）可知，计时器示数扩展不确定度 $U_{rel}(t) = 0.5\%$ ，包含因子 $k_1 = 2$ 。因此，相对标准不确定度为：

$$u_{rel}(t) = \frac{U_{rel} t}{k_1} = \frac{0.5\%}{2} = 2.5 \times 10^{-3} \tag{8}$$

其中自由度 $\nu_1 = \infty$ 。

2.3 火焰高度误差引起的 B 类不确定度分量

经上海市质量监督检验技术研究院检定（检定证书编号：J1844200235）可知，火焰高度扩展不确定度 $U(h) = 0.04\text{mm}$ ，包含因子 $k_2 = 2$ 。因此，标准不确定度为：

$$u_h = \frac{U(h)}{k_2} = \frac{0.04\text{mm}}{2} = 0.02\text{ mm} \tag{9}$$

根据 GB/T 14644-2014 可知，燃烧器顶端到火焰尖端的距离为 16mm，则相对标准不确定度为：

$$u_{rel} h = \frac{u(h)}{16\text{mm}} = 1.25 \times 10^{-3} \tag{10}$$

其中自由度 $\nu_2 = \infty$ 。

2.4 试样架与火焰头夹角误差引起的 B 类不确定度分量

经上海市质量监督检验技术研究院检定 (检定证书编号: J1844200235) 可知, 试样架与火焰头夹角扩展不确定度 $U(\theta) = 0.02^\circ$, 包含因子 $k_3 = 2$ 。

$$u_\theta = \frac{U(\theta)}{k_3} = \frac{0.02}{2} = 0.01^\circ \quad (11)$$

根据 GB/T 14644-2014 可知, 试样架倾角为 45° , 则相对标准不确定度为:

$$u_{rel}\theta = \frac{u(\theta)}{45} = 2.0 \times 10^{-4} \quad (12)$$

其中自由度 $\nu_3 = \infty$ 。

2.5 数字修约引起的 B 类不确定度分量

按照 GB/T 14644-2014 规定可知, 火焰蔓延时间平均值修约至 0.1s, 根据 JJF1059-2012^[10]规定可知, 区间半宽度为 $0.1/2 = 0.05s$, 可能值在区间内为均匀分布, 包含因子 $k_4 = \sqrt{3}$, 因此由分辨力导致的标准不确定度分量 $u(x)$ 为

$$u(\delta) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.0289 \quad (13)$$

其中自由度 $\nu_4 = \infty$ 。

3 合成不确定度

将 A 类和 B 类不确定度合并可得相对合成标准不确定度, 由于各分量之间无相关, 灵敏系数 $c=1$ 。

将上述 (6)、(8)、(10) 和 (12) 四项相对不确定度合并, 可得:

$$\text{洗前: } u'_{crel}1 = \sqrt{\sum_{i=1}^4 u_i^2} = \sqrt{u_{rel}^2 t_1 + u_{rel}^2 t + u_{rel}^2 h + u_{rel}^2 \theta} = 9.8448 \times 10^{-3} \quad (14)$$

将上述 (7)、(8)、(10) 和 (12) 四项相对不确定度合并, 可得:

$$\text{洗后: } u'_{crel}2 = \sqrt{\sum_{i=1}^4 u_i^2} = \sqrt{u_{rel}^2 t_2 + u_{rel}^2 t + u_{rel}^2 h + u_{rel}^2 \theta} = 11.2060 \times 10^{-3} \quad (15)$$

因此, 合成不确定度为:

$$\text{洗前: } u'_{c1} = u_{crel}1 \times \bar{t}_1 = 0.1663s \quad (16)$$

$$\text{洗后: } u'_{c2} = u_{crel}2 \times \bar{t}_2 = 0.1840s \quad (17)$$

所以, 上述所有不确定度分量的合成不确定度为:

$$\text{洗前: } u_{c1} = \sqrt{u_{c1}^2 + u^2(\delta)} = 0.1688s \quad (18)$$

$$\text{洗后: } u_{c2} = \sqrt{u_{c2}^2 + u^2(\delta)} = 0.1863s \quad (19)$$

又当各分量间相互独立且输出量接近正态分布或 t 分布 (测量模型为线性函数) 时, 合成标准不确定度的有效自由度根据 Welch-Satterthwaite 公式计算可知:

$$\text{洗前: } \nu_{eff1} = \frac{u_{c1}^4}{\sum_{i=1}^4 \frac{u_i^4}{\nu_i}} = \frac{0.1688^4}{\frac{0.1609^4}{9}} = 10.90 \quad (20)$$

因此 ν_{eff1} 取 10

$$\text{洗后: } \nu_{eff2} = \frac{u_{c2}^4}{\sum_{i=1}^4 \frac{u_i^4}{\nu_i}} = \frac{0.1863^4}{\frac{0.1781^4}{9}} = 10.78 \quad (21)$$

因此 ν_{eff2} 取 10

4 扩展不确定度

在 95%置信水平下, $v_{\text{eff}}=10$, 查 T-分布表可知, 包含因子 $k=2.23$, 扩展不确定为:

$$\text{洗前: } U_p(t_1)=k \times u_{c1}=0.1688 \times 2.23=0.38\text{s} \quad (22)$$

在 95%置信水平下, $v_{\text{eff}}=10$, 查 T-分布表可知, 包含因子 $k=2.23$, 扩展不确定为:

$$\text{洗后: } U_p(t_2)=k \times u_{c2}=0.1863 \times 2.23=0.42\text{s} \quad (23)$$

5 结论

(1) 通过对样品进行燃烧性能测试可知, 在 95%的置信区间内, 试样洗前的火焰蔓延时间为 $16.90\text{s} \pm 0.38\text{s}$, 洗后的火焰蔓延时间为 $16.42 \pm 0.42\text{s}$ 。

(2) 测试过程中火焰蔓延时间的不确定度主要来源于试验重复性、计时器示数误差和火焰高度, 其中试验重复性度不确定度影响最大。

(3) 通过洗前和洗后燃烧性能比较可知, 洗后的火焰蔓延时间较洗前短, 不确定度高。这是因为洗涤过程中洗涤剂的浸润、渗透、乳化、分散、增溶和发泡等功效以及洗衣机的机械搅拌对织物结构有一定影响^[11]。

参考文献:

- [1] GB/T 14644-2014 纺织品 燃烧性能 45° 方向燃烧速率的测定[S].
- [2] GB/T 5455-2014 纺织品 燃烧性能 垂直方向 损毁长度阴燃和续燃时间的测定[S].
- [3] GB/T 5454-1997 纺织品 燃烧性能试验 氧指数法[S].
- [4] 16CFR 1615&1616 flammability of children's sleepwear[S].
- [5] ASTM D6545 standard test method for flammability of textiles used in children sleepwear[S].
- [6] 韩军, 颜倩, 张锦华, 等. 纺织品水洗尺寸变化测定的不确定度评定[J]. 纺织科技进展, 2013, (4): 37-38+62.
- [7] 赵阳, 滕金山, 陈胜. 织物阻燃性能—损毁长度测定的不确定度评定[J]. 现代计量测试, 2002, 10(6): 40-43.
- [8] 薛广洲, 王玲. 织物单位面积质量的不确定度评定[J]. 纺织学报, 2004, 25(05): 45-47.
- [9] GB/T8629-2017 纺织品试验用家庭洗涤和干燥程序[S].
- [10] JJF1059-2012 测量不确定度与表示[S].
- [11] 邱菲. 阻燃整理织物耐水洗性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2011.

Uncertainty Analysis of Flame Spread Time of Non-Staple Textiles

HOU Bing-bing, ZHANG Hong-kang, HUANG Yi-jing

(Shanghai Institute Of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 200040, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of the test results of the flame retardant properties of non-textured textiles, the uncertainty of textile combustion performance is evaluated. According to the relevant method of GB/T 14644-2014 *Textiles-Burning Behaviour-45 ° Test Determination of Flame Spread Rate*, the flame spread time is used to evaluate the combustion performance of the fabric. Taking pure cotton fabric as an example, we analyzed and compared the sources of uncertainty during the test, and the uncertainty component was evaluated and synthesized. The results showed that the extended uncertainty of flame propagation time before and after washing was 0.38s and 0.42s, respectively. The uncertainty during the test mainly comes from the test repeatability, the timer error and the flame height, and the test repeatability has the greatest influence on the uncertainty.

Key words: cotton; burning behaviors ; uncertainty; 45° test; flame spread time