

# 保暖袜透湿性能测定的不确定度分析

许昌亮,王丽莉,马 玲

(上海市质量监督检验技术研究院,上海 200040)

**摘要:**为了提高保暖袜透湿性能测试结果的有效性和准确性,对保暖袜透湿性能的不确定度进行了有效性评估,从而能更好地改善保暖袜的舒适性能。采用标准 FZ/T 73054—2015《保暖袜》中透湿率的方法,对针织保暖袜的透湿性能进行了测试。在测试过程中,选取 10 只不同的保暖袜作为样本,重复测量 10 次,对该过程中的影响因素包括样品测量重复性、测试方法的正确性、设备仪器的精确性等进行逐一分析,通过计算标准差等数理统计的方法,得出不确定度的分量,最终计算出合成不确定度和扩展不确定度。所测保暖袜透湿率结果的扩展不确定度为  $88.98 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$ 。

**关键词:**保暖袜;舒适性能;透湿率;不确定度

中图分类号:TS186.3

文献标识码:A

文章编号:1673-0356(2021)05-0032-04

人们在冬季穿着皮鞋时,脚踝会暴露在外面,容易被寒气冻伤,所以需要穿着一双保暖的袜子来保护我们的双脚。但是随着全球经济的飞速发展,人们对于保暖袜提出了更高的要求,不能一味地靠封闭式来达到保暖的效果,即对保暖袜的检测性能有了更高的要求。标准 FZ/T 73054—2015《保暖袜》热湿舒适性能考核指标中透湿率<sup>[1]</sup>是一个重要的性能指标,具有非常重要的参考价值。

保暖袜在穿着过程中,脚部的汗水蒸汽从保暖袜的内部向外部传导,袜子的透湿率对其舒适性有很大的影响,所以准确分析透湿率的不确定度,才能更加充分反应数值的准确性和实用性,对最后的测试结果起到指导作用。探讨保暖袜透湿率不确定度的主要来源及相关评定,运用数理统计相关理论,得出合成不确定度,计算出扩展不确定度。

## 1 检测原理和方法

### 1.1 检测原理

在试验规定温度和湿度的密闭环境箱中,把装有干燥剂并封上织物样品的透湿杯放入环境箱,一定时间后,称量透湿杯质量变化,最后通过公式计算出保暖袜的透湿率。

### 1.2 试验设备

采用德国 Memmer 公司型号为 CTC256 的气候测试箱,如图 1 所示,试验箱中配有温度、湿度传感器

和测量装置,能够精确地控制温湿度在规定的范围内,并且内部循环气流速度持续稳定,从而能达到试验气流速度  $0.3\sim0.5 \text{ m/s}$  的要求。电子天平为梅特勒托利多国际贸易有限公司生产的型号为 TLE 204 型电子天平。



图 1 气候测试箱

### 1.3 检测方法

#### 1.3.1 试验准备

将保暖袜采用 GB/T 8629—2001 的 5A 程序连续洗涤 3 次,洗完后将样品悬挂晾干。将晾干后的保暖袜以提针起点 c 和袜尖 a 的连线为中心线<sup>[2]</sup>,如图 2 所示,脚面部和底部各占一半,取每块试样的直径为 70 mm,然后将取好的试样放在标准大气压<sup>[3]</sup>下平衡 24 h 达到调湿稳定。

#### 1.3.2 试验步骤

取一定量的无水氯化钙干燥剂放入  $160^\circ\text{C}$  的烘箱中干燥 3 h,干燥结束后取约 35 g 的干燥剂加入到事先准备好的干燥、干净的透湿杯中,使干燥剂铺成一个平面,干燥剂的平面应该距离所装样品下表面 4 mm

收稿日期:2021-01-11

作者简介:许昌亮(1989-),男,硕士研究生,工程师,主要从事纺织品物理性能和功能性检测,E-mail:xuchangliangshiye@163.com。

左右。

干燥剂装填结束后,将样品测试面向上放平在透湿杯上,组合好透湿杯,再用胶带从侧面封住透湿杯,变成试验组合体。将组合体迅速水平放置在温度为 $(38\pm2)$ ℃,相对湿度为90%±2%的试验气候箱内,取下对应杯盖,平衡1 h后,迅速盖上对应的杯盖,放入到事先20℃环境平衡好的硅胶干燥器中平衡30 min,在15 s内按照编号放入电子天平中逐一称量组合体,精确至0.001 g。

轻微振动称量后杯中的干燥剂,使其上下混合均匀,迅速将试验组合体放入到试验气候箱中,取下杯盖,平衡1 h后取出,干燥剂中平衡30 min,再按先后顺序逐一称量,精确至0.001 g。

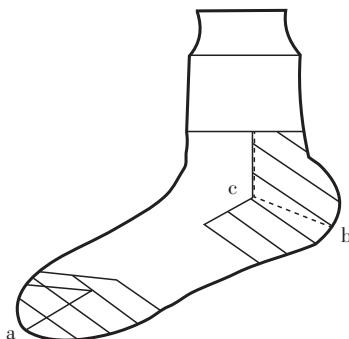


图2 袜子各部位示意图

### 1.3.3 计算公式

试样透湿率按照公式<sup>[1]</sup>(1)计算,以3块试样的平均值来表示试验结果,按照GB/T 8170—2008修约至3位有效数字:

$$WVT = \frac{\Delta m - \Delta m'}{A \cdot t} \quad (1)$$

式中: WVT —— 试样透湿率, g/(m<sup>2</sup>·h)或g/(m<sup>2</sup>·24 h);  $\Delta m$  —— 试验组合体的前后2次称量差值,g;  $\Delta m'$  —— 同一试验组合体的空白试样前后2次称量差值(不做空白试验时 $\Delta m' = 0$ ); A —— 试验有效面积,m<sup>2</sup>; t —— 试验时间,h。

## 2 不确定度的来源分析<sup>[4]</sup>

保暖袜透湿率的不确定度主要来源于样品的均匀性、测试方法的正确性、仪器设备的精确性等。

### 2.1 样品的均匀性

保暖袜的制作过程中线圈之间的编织存在差异,试验过程中取样位置影响到最终的结果,由于经济原因不可能将试样的数量取到无限大,取样也只能取到

规定的样本量,因此要对试样的均匀性进行不确定度分析。在取样过程中严格按照标准要求进行取样,选择比较均匀的保暖袜。

### 2.2 测试方法的正确性

在试验过程中,人员操作的正确性对试验的结果会产生影响。试验组装样品中,干燥剂是否铺成一个平面,干燥剂的平面是否距离所装样品下表面4 mm左右,试验组合体有没有密封完好等都会对最终的测试结果产生影响。

### 2.3 仪器设备的精确性

不同仪器的灵敏度和结果修约的准确性都会产生示值误差。电子天平的精确度,保暖袜透湿率最终结果修约到3位有效数字等都会对最终结果产生影响。不确定度的来源分析如图3所示。

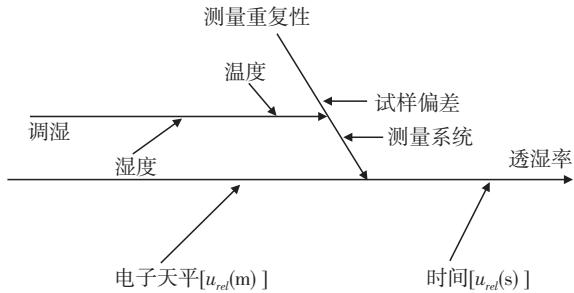


图3 保暖袜透湿率不确定度分量来源示意图

## 3 测量不确定度评定

### 3.1 随机效应导致的不确定度<sup>[5]</sup>分量

人员操作的随机性和样品的均匀性导致了该项不确定度。选取10只不同的保暖袜作为样本,由同一试验人员按照1.3.2试验过程测试10组样品,对数值进行分析评定,结果见表1。

当用多次测量的平均值得到结果时,用平均值标准差来表示随机效应导致的不确定度。即应用贝塞尔公式<sup>[6]</sup>计算试验标准偏差、矩形分布<sup>[7]</sup>。

10次测量的平均值为:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} x_i = 9.567 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$$

试验标准偏差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{10 - 1}} = 136.793 \text{ 6}$$

标准不确定度:

$$u_1 = \frac{s}{\bar{x} \times \sqrt{n}} = 0.004522$$

自由度:

$$v_1 = n - 1 = 9$$

式中,  $s$  为标准差;  $\bar{x}$  为透湿率的平均值;  $n$  为试验次数。

表 1 保暖袜透湿率的重复性测量数据

| 序号 | 第1次称量/g | 第2次称量/g | $\Delta m / g$ | 透湿率/ $g \cdot (m^2 \cdot 24 h)^{-1}$ |
|----|---------|---------|----------------|--------------------------------------|
| 1  | 208.371 | 209.484 | 1.113          | 9 438                                |
| 2  | 207.963 | 209.110 | 1.147          | 9 727                                |
| 3  | 207.608 | 208.756 | 1.148          | 9 736                                |
| 4  | 206.342 | 207.456 | 1.114          | 9 447                                |
| 5  | 205.189 | 206.296 | 1.107          | 9 388                                |
| 6  | 208.143 | 209.289 | 1.146          | 9 718                                |
| 7  | 204.689 | 205.804 | 1.115          | 9 456                                |
| 8  | 207.984 | 209.104 | 1.120          | 9 498                                |
| 9  | 206.324 | 207.456 | 1.132          | 9 600                                |
| 10 | 204.523 | 205.663 | 1.140          | 9 668                                |

### 3.2 数字电子天平引起的不确定度

透湿杯在称量过程中存在称量的重复性和称量误差 2 个不确定因素。在透湿率的重复性测量中已经包括了称量的重复性, 所以不再参与计算。本试验用的数字天平为型号 TLE 204 型电子天平, 通过电子天平检定证书可以查得, 当称量  $m > 200$  g 时, 最大允许误差  $MPE = 0.0015$  g, 为矩形分布。

标准不确定度:

$$u_2 = \frac{0.0015}{\sqrt{3}} = 0.0008661$$

自由度:

$$v_2 = \infty$$

### 3.3 电子秒表引起的不确定度

试验用的电子秒表的最小刻度为 1 s, 矩形分布计算得, 标准不确定度:

$$u_3 = 1 \div 3600 \div \sqrt{3} = 0.0001604$$

自由度:

$$v_3 = \infty$$

### 4 合成标准不确定度 $u_c$

重复性测试导致的相对不确定度分量, 以及测量系统导致的相对标准不确定度分量, 各分量彼此独立, 因此可按式(2)计算得出  $u_c$ 。

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.004607 \quad (2)$$

合成不确定度为:

$$u_{c合} = \bar{x} \times u_c = 44.49 \text{ g}/(m^2 \cdot 24 \text{ h})$$

### 5 扩展不确定度评估

包含因子是为求得扩展不确定度所乘的数字因子, 包含因子根据扩展不确定度的置信水平来确定。由合成标准不确定度乘以一个倍数来得到扩展不确定度。一般当  $K = 2^{[8]}$  时,  $P = 95\%$ ; 当  $K = 3$  时,  $P = 99\%$ 。在没有特殊要求的情况下, 本文取包含因子  $K = 2$ ,  $P = 95\%$ , 则相对扩展不确定度为:  $U = K \times u_c = 2 \times 44.49 = 88.98 \text{ g}/(m^2 \cdot 24 \text{ h})$ 。

因此, 本试验测试结果可表示为  $WVT = (9567 \pm 88.98) \text{ g}/(m^2 \cdot 24 \text{ h})$ 。

### 6 结论

(1) 保暖袜的透湿率测试结果为  $(9567 \pm 88.98) \text{ g}/(m^2 \cdot 24 \text{ h})$ , 取包含因子  $K = 2$ , 置信概率近似  $95\%$ 。

(2) 从表 2 中保暖袜的透湿率不确定度贡献可以看出, 电子天平  $u_2$  和电子秒表  $u_3$  的不确定度可以忽略, 样品重复性  $u_1$  为主要因素。

表 2 各测试分量引起保暖袜透湿率不确定度的总结

| 分量    | 因 素   | 不确定度数值    | 总不确定度    | 贡献度/% |
|-------|-------|-----------|----------|-------|
| $u_1$ | 样品重复性 | 0.004522  | 0.004607 | 96.3  |
| $u_2$ | 电子天平  | 0.0008661 |          | 3.5   |
| $u_3$ | 电子秒表  | 0.0001604 |          | 1.2   |

(3) 保暖袜透湿性能的不确定度, 主要来自于样品重复性, 随着试验次数的增加, 重复性所产生的不确定度越小, 并趋近于某个固定值; 其次是电子天平的称量不确定度和电子秒表测量引起的不确定度。所以在检测时须严格按规范操作, 提高多次检测的稳定性, 同时使用精确度较高的称量仪器。

### 参考文献:

- [1] 纺织品 织物透湿性试验方法 第 1 部分: 吸湿法: GB/T 12704.1—2009[S].
- [2] 保暖袜: FZ/T 73054—2015[S].
- [3] 纺织品 调湿和试验用标准大气: GB/T 6529—2008[S].
- [4] 赵军, 张毅, 杨彬, 等. 吸湿速干面料芯吸高度测量的不确定度分析[J]. 上海纺织科技, 2017, 45(5): 42—44.
- [5] 葛传兵, 钱晓明, 赵晓明, 等. 纺织品吸湿发热测量不确定度分析[J]. 纺织学报, 2017, 38(9): 76—80.
- [6] 郁宗隽. 数理统计在纺织工程中的应用[M]. 北京: 纺织

- 工业出版社, 1984.
- [7] 吴铨洪, 黄明华, 郑政科, 等. 条样法测定色织氨纶弹力布断裂强力的不确定度评估[J]. 山东纺织经济, 2014,
- (7): 29—30.
- [8] 李松. 纺织品透湿性能测定的不确定度评定[J]. 针织工业, 2015, (10): 66—67.

## Discussion on the Uncertainty of Test Method for Water Vapor Transmission in Thermal Socks

XU Chang-liang, WANG Li-li, MA Ling

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

**Abstract:** In order to improve the effectiveness and accuracy of the test results of the moisture permeability of the thermal socks, the uncertainty of the moisture permeability of the thermal socks was effectively evaluated, so that the comfort performance of the thermal socks could be better improved. The moisture permeability of the knitted thermal socks was tested by the method of moisture permeability in the standard FZ/T 73054—2015 "thermal socks". During the test, 10 different thermal socks were selected as samples, and the measurement was repeated 10 times. The influencing factors included the repeatability of the sample measurement, the correctness of the test method, and the accuracy of the equipment instruments in the process. These factors were analyzed one by one. By mathematical statistical methods such as calculating the standard deviation, the component of the uncertainty was obtained. The synthetic uncertainty and the extended uncertainty were calculated. The expanded uncertainty of the moisture permeability of the tested thermal socks was 88.98 g/(m<sup>2</sup> · 24 h).

**Key words:** thermal socks; comfort performance; water vapor transmission rate; uncertainty

(上接第 27 页)

织物的纬纱比 2#、4#、6# 织物的纬纱粗,使得织物的孔隙率减少,织物的透湿率、透湿度、透湿系数也随之减小。

### 5 结语

(1)当织物组织、经密、经纱原料、经纱线密度、纬纱原料和纬纱线密度等因素不变时,织物的透气率、透湿率、透湿度、透湿系数随着纬密的增加而变小。

(2)当织物组织、经密、经纱原料、经纱线密度和纬

密等因素不变时,随着纬纱的线密度增大,织物的透气率、透湿率、透湿度、透湿系数也随之减小。

### 参考文献:

- [1] 纺织品 调湿和试验用标准大气:GB/T 6529—2008 [S].
- [2] 纺织品 织物透气性的测定:GB/T 5453—1997[S].
- [3] 纺织品 织物透湿性试验方法 第 1 部分:吸湿法:GB/T 12704.1—2009[S].
- [4] 马顺彬,张炜栋.织物性能检测[M].上海:东华大学出版社,2018.

## Effect of Weft Density on Permeability of Copper Modified Polyester/Cotton Fabric

MA Shun-bin, WANG Wen-qiang, TANG Meng-ya

(Jiangsu College of Engineering and Technology, Nantong 226007, China)

**Abstract:** Six kinds of fabrics with different specifications were designed and produced, and their air permeability, water-vapour transmission rate, water-vapour permeance and water-vapour permeability were tested. The results showed that when the fabric structure, warp density, warp material, warp yarn density, weft material and weft yarn density remained unchanged, the air permeability, water-vapour transmission rate, water water-vapour permeance and water-vapour permeability of the fabric decreased with the increase of weft density. When the fabric structure, warp density, warp material, warp yarn density and weft density remained unchanged, the air permeability, water-vapour transmission rate, water-vapour permeance and water-vapour permeability of the fabric decreased with the increase of linear density of weft yarn.

**Key words:** copper modified polyester fiber; air permeability; water-vapour transmission rate; water-vapour permeance; water-vapour permeability