

DOI: 10.19333/j.mfkj.2017110391004

# 阻燃织物的物理特性与热防护性能的关系

刘林玉<sup>1</sup>, 金艳苹<sup>1,2</sup>, 倪 苹<sup>1</sup>

(1. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 浙江省服装工程技术研究中心 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 为研究阻燃织物的热防护性能, 利用 CSI-206 热防护性能测试仪对市场上 12 块不同阻燃织物的热防护性能(TPP 值)进行测试, 通过 SPSS 软件分析不同织物的面密度、厚度、透气性等物理特性和热防护性能的关系。结果显示: 织物面密度、厚度、透气率与 TPP 值之间存在明显的相关性, 燃烧前后质量损失率与 TPP 值之间存在的相关性不显著, 其中面密度、厚度及燃烧前后质量损失率与 TPP 值之间存在正相关关系, 透气率与 TPP 值之间存在负相关关系, 并在 TPP 值、织物面密度、厚度及透气率之间建立一元线性回归模型, 模型经检验成立。

**关键词:** 阻燃织物; 物理特性; 热防护性能

中图分类号: TS 195.1 文献标志码: A

## Relationship between thermal protective performance and physical properties of flame resistant fabric

LIU Linyu<sup>1</sup>, JIN Yanping<sup>1,2</sup>, NI Ping<sup>1</sup>

(1. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China; 2. Zhejiang Provincial Research Center of Clothing Engineering Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

**Abstract:** The thermal protective performances (TPP) of 12 flame resistant fabrics were tested in laboratory using CSI-206. Factors such as fabric thickness, weight of fabric and air permeability on thermal protective performances were analyzed by SPSS software. Experimental results revealed that TPP value was almost unaffected by mass loss before and after combustion, but was greatly affected by fabric thickness, weight and air permeability. TPP value was increased with weight, thickness and weight loss after combustion while decreased with air permeability. A simple linear regression equation was developed between TPP value, thickness, weight of fabric and air permeability.

**Keywords:** flame resistant fabric; physical property; thermal protective performance

从 20 世纪 50 年代的纯棉不耐洗阻燃织物开始<sup>[1]</sup>, 我国在阻燃织物方面的开发和研究已得到了很大程度的发展, 对阻燃织物服用性能以及热防护性能方面的研究成果也已有不少: 有从织物种类、结构角度研究织物厚度对织物热防护性能(TPP 值)的影响<sup>[2-4]</sup>; 有从织物混纺角度研究得出混纺织物比各自的纯纺织物阻燃性能要好<sup>[5]</sup>。但随着近年来纺织科技的不断进步, 如阻燃纤维的多元化, 阻燃

剂的研发, 后整理技术的改进, 以及各种材料的混纺、交织, 使得阻燃织物的基本性能和热防护性能也在不断的变化。

本文借助 CSI-206 热防护性能测试仪, 测试目前市场上阻燃织物的热防护性能, 分析探讨织物物理性能与热防护性能的关系, 为研发防护性能更好的阻燃织物提供一定的参考。

## 1 实验部分

### 1.1 材料

选取市场上 12 块不同纤维成分以及不同结构参数的阻燃织物作为试样, 其成分主要为芳纶、棉、莫代尔、聚酰胺和涤纶基抗静电纤维等。织物的成

收稿日期: 2017-12-01

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY15E030012); 浙江省服装个性化定制 2011 协同创新中心项目

第一作者简介: 刘林玉, 硕士生, 主要研究方向为功能纺织服装材料。通信作者: 金艳苹, E-mail: goldyp77@163.com。

分、组织结构、面密度、厚度、透气性等物理特性具体 见表1。

表1 织物的物理特性

编号	原料成分	组织结构	面密度/ ( $g \cdot m^{-2}$ )	厚度/ mm	透气率/ ( $mm \cdot s^{-1}$ )
1	93% 芳纶 1313 5% 芳纶 1414 2% 抗静电纤维	斜纹	150	0.54	947.0
2	100% 棉	平纹	400	0.89	112.9
3	60% 莫代尔 34.6% 棉 5% 锦纶 0.4% 抗静电纤维	联合组织	350	0.72	156.5
4	75% 芳纶 1313 23% 芳纶 1414 2% 抗静电纤维	联合组织	195	0.57	554.0
5	90% 棉 10% 聚酰胺	斜纹	380	0.79	243.4
6	99.8% 棉 0.2% 抗静电纤维	斜纹	310	0.71	619.0
7	93% 芳纶 1313 5% 芳纶 1414 2% 抗静电纤维	平纹	150	0.38	2462.0
8	100% 棉	平纹	285	0.62	172.1
9	100% 棉	斜纹	210	0.58	562.0
10	60% 莫代尔 34.6% 棉 5% 锦纶 0.4% 抗静电纤维	斜纹	260	0.57	292.1
11	80% 莫代尔 19.8% 棉 0.2% 抗静电纤维	斜纹	185	0.42	1672.0
12	60% 莫代尔 34.6% 棉 5% 锦纶 0.4% 抗静电纤维	联合组织	295	0.59	206.4

## 1.2 测试方法

### 1.2.1 热防护性能测试

TPP 实验是目前国际上通用的评价织物热防护性能的实验方法,本文采用美国 Custom Scientific Instrument 公司生产的热防护性能测试仪 TPP-CSI 206 进行测试。该实验依照 NFPA1971 (National Fire Protection Association 1971《建筑灭火与近距离灭火整体着装保护标准》)进行:试样规格为 150 mm × 150 mm,并将准备好的试样在 1 个标准大气压,温度(20 ± 2) °C 和相对湿度 65% ± 4% 的条件下保持 24 h,取出后 3 min 内进行测试。实验结果取 3 次测试的平均值,且 TPP 值越高,对人体的保护性能越好<sup>[6]</sup>。

### 1.2.2 织物物理特性测试

织物面密度采用精度为 0.1 g 的电子天平进行测量;厚度采用 YG(B) 141D 数字式织物厚度仪按照 GB/T 3820—1997《纺织品和纺织制品厚度的测定》进行测定;透气性使用 YG(B) 461D-II 型数字式织物透气量仪按照 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》进行测定。

## 2 实验结果与分析

12 种织物的 TPP 值实验结果及其质量变化见表 2。可以看出,各试样的 TPP 值均在 10 kW · s/m<sup>2</sup> 左右,表明其具有一定的热防护性能。

### 2.1 织物成分与 TPP 值的关系

从表 2 可以看出:织物成分为 90% 棉和 10% 聚酰胺的 5 号织物的 TPP 值最大,造成皮肤二度烧伤的时间最长,其热防护性能最好。这主要是由于聚酰胺纤维在燃烧过程中产生融滴及硬化,从织物中带走一部分热量,且部分脆化的聚酰胺纤维抑制了

表2 织物试样 TPP 值实验结果及其质量变化

编号	二度烧伤 时间 t/s	TPP 值/ (kW · s · m <sup>-2</sup> )	燃烧前 质量 m <sub>1</sub> /g	燃烧后 质量 m <sub>2</sub> /g	燃烧前后质量 损失率 R/%
1	5.1	8.4	4.25	3.81	0.10
2	6.7	10.9	9.11	6.28	0.31
3	6.8	11.2	7.35	5.33	0.27
4	5.9	9.6	4.61	4.09	0.11
5	10.3	16.8	8.23	6.48	0.21
6	6.5	10.6	7.11	5.09	0.28
7	4.4	7.2	3.34	2.89	0.13
8	5.3	8.7	6.94	4.97	0.28
9	6.7	10.9	5.24	3.35	0.36
10	7.3	12.0	6.17	4.37	0.29
11	5.0	8.2	4.18	2.86	0.32
12	6.4	10.4	6.55	4.62	0.29

热量的扩散,更好地保护了棉纤维部分。2 类纤维的协同效应使织物具有优良的热防护性能<sup>[7]</sup>,另外棉织物较为蓬松,静止空气较多,导热性能较差。由 4 种纤维混纺的 3、10、12 号阻燃织物,成分为 99.8% 棉、0.2% 抗静电纤维的 6 号和 100% 棉的 2、8、9 号织物的热防护性能都比较高。而其他几类混纺阻燃织物相对来说,TPP 值稍低,尤其是成分为 93% 芳纶 1313、5% 芳纶 1414、2% 抗静电纤维织成的 7 号阻燃织物是试样中最低的,且该织物在遇火燃烧时,会出现明显的收缩,因此该织物在遇火时虽然燃性能不好,但保护人体不受二度灼伤的能力相对较低,织物的热防护性能较差。这是由于虽然芳纶 1313 和芳纶 1414 纤维本身的阻燃性能很好,但其织物的悬垂性较好,织物结构较紧密,导热性良好,从而导致热防护性较差。

## 2.2 织物物理特性及质量损失率与 TPP 值关系

运用 SPSS 18.0 对以上 12 块阻燃织物的基本物理特性包括织物面密度、厚度、透气率与试样所测得的 TPP 值以及其燃烧前后质量损失率进行相关性分析,其结果如表 3 所示。

表 3 织物的物理特性及质量损失率与 TPP 值的相关系数

项目	TPP 值	面密度	厚度	透气率	燃烧前后质量损失率
TPP 值	1.00				
面密度	0.695*	1.00			
厚度	0.667	0.913**	1.00		
透气率	-0.595	-0.724	-0.776	1.00	
燃烧前后质量损失率	0.457	0.842**	0.740**	-0.671*	1.00

由表 3 可知,织物面密度、厚度、透气率与 TPP 值的相关系数分别为 0.695、0.667、-0.595,属于中度相关;织物燃烧前后质量损失率与 TPP 值的相关系数为 0.457,属于低度相关。同时,织物面密度、厚度、燃烧前后质量损失率与 TPP 值之间为正相关关系,表示 TPP 值会随着面密度、厚度、织物燃烧前后质量损失率任何一项的上升而提高。其原因是:在其他条件不变的情况下,织物越厚,织物所截留的空气含量就会越多,热防护能力就越强。因为空气的导热系数仅为一般纤维的 1/10<sup>[8]</sup>,因而其绝热性好。面密度对织物热防护性的影响主要是通过透气率来实现<sup>[9]</sup>,而透气率与 TPP 值之间成负相关

关系,即随着织物透气率的提高,其 TPP 值会下降。这是因为织物的透气性越好,热量就越容易在织物中传递,从而导致织物的热防护性能下降<sup>[10]</sup>。

## 2.3 织物物理特性与 TPP 值线性回归分析

由上述分析可知试样所测得的 TPP 值与其面密度、厚度、透气率及燃烧前后质量损失率间均存在着一定的相关性,但 TPP 值与燃烧前后质量损失率间存在的线性关系不明显。因此以下仅对变量:面密度、厚度及透气率对因变量 TPP 值间的关系用一元线性与多元线性回归方法对其进行回归分析,建立回归模型,确定各变量与因变量 TPP 值间存在的具体关系。

### 2.3.1 一元线性回归分析

利用 SPSS 软件进行分析并建立模型,建立 3 个一元线性回归模型分别为

$$\text{TPP 值} = 5.172 + 0.02 \times \text{面密度} \quad (1)$$

$$\text{TPP 值} = 3.411 + 11.378 \times \text{厚度} \quad (2)$$

$$\text{TPP 值} = 11.774 - 0.002 \times \text{透气率} \quad (3)$$

对以上 3 个模型进行回归方程的显著性(F)检验、回归系数的显著性(T)检验以及残差分析。结果表明:TPP 值与面密度建立的回归模型经 F 检验后得出二者间存在着明显的线性关系,从 T 检验中可以看出所得出的回归系数有显著意义。图 1 为标准化的残差的正态概率图。可知标准化的残差散点都分布在直线上或接近直线,因此标准化残差呈正态分布。说明模型对于数据的拟合效果较好,TPP 值与面密度间建立的一元线性回归模型是有意义的。

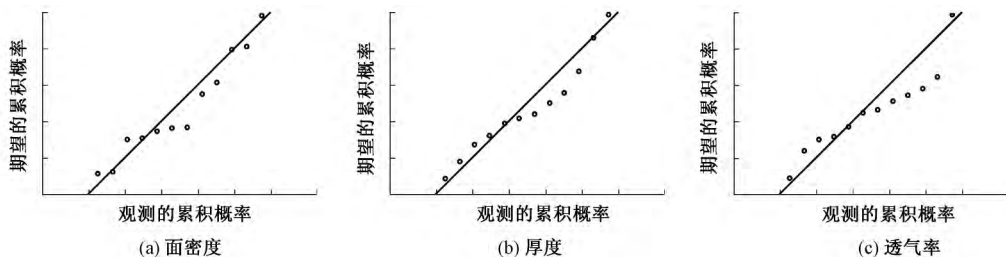


图 1 标准化残差的正态概率图

同样,通过研究 TPP 值与厚度、透气率间存在的线性关系及其检验情况,发现其变量与因变量间也存在线性关系,且模型拟合度较好。

### 2.3.2 多元线性回归分析

用 SPSS 做多元线性回归分析,引入变量面密度、厚度、透气率,并经过 SPSS 逐步回归分析后得到的自变量只有面密度,其所得到的相关回归结果均与一元线性回归模型一致,即面密度、厚度、透气率与 TPP 值之间多元线性关系不存在。这从上述的分析中也可以看到,多元线性回归模型成立的条件

之一是几个自变量间没有多重共线性,即几个自变量之间没有过多的相关线性关系。但是,从表 3 的分析结果可知面密度与厚度的相关系数为 0.913,面密度与透气率的相关系数为 -0.724,厚度与透气率的相关系数为 -0.776,其相关系数都接近 1,表明几个变量间存在的线性相关关系比较显著,因此在做多元线性回归模型时几个变量会被剔除,几者间的多元线性回归模型不存在。

由 SPSS18.0 对试样的面密度、厚度及透气率与 TPP 值进行更直观的气泡图分析,结果见图 2。

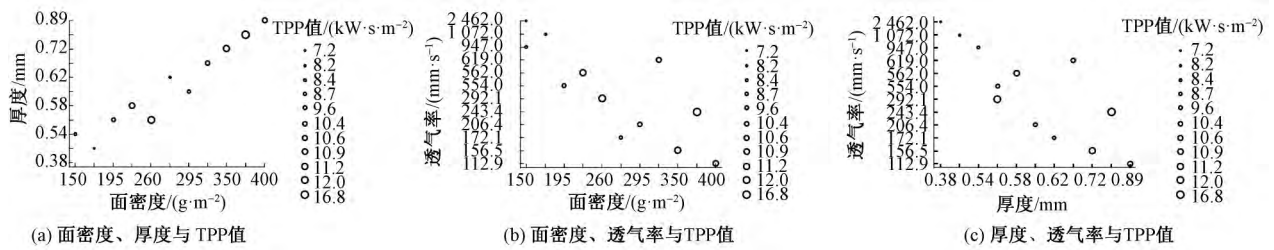


图2 织物面密度、厚度及透气率与TPP值气泡图

从气泡图中看到,5号织物的TPP值最高,为16.8,此时试样的面密度为380 g/m<sup>2</sup>,厚度为0.79 mm,透气率为243.4 mm/s。但几者间没有明显的线性关系,TPP值较高的气泡分布并没有出现集中或线性等趋势。

### 3 结论

①对于阻燃织物,织物的成分,即纤维种类以及比例是影响其热防护性能的重要因素。

②织物的物理特性对热防护性能也有影响。通过对实验所选12种阻燃织物的测试发现:织物面密度、厚度与TPP值之间存在显著正相关关系;透气率与TPP值之间存在负相关关系;燃烧前后质量损失率与TPP值之间存在的相关性不显著。

③阻燃织物的面密度、厚度及透气率与TPP值之间都存在一元回归线性关系。而自变量为面密度、厚度、透气率,因变量为TPP值时,其所建立的多元线性回归模型不成立。对多元线性回归模型进行逐步回归后,得到只有以面密度为自变量,TPP值为因变量的一元线性回归模型,而厚度与透气率被系统剔除,并且自变量间的相关性显著,多重线性关系明显。

### 参考文献:

- [1] 黄秀丽. 阻燃织物的应用和发展[J]. 中国纤检, 2010(6): 81-83.
- [2] 王晶晶,解芳,朱方龙,等. 阻燃面料的阻燃性能探讨[J]. 染整技术, 2016, 38(6): 1-6.
- [3] LI J, LU Y, LI X. Effect of relative humidity coupled with air gap on heat transfer of flame resistant fabrics exposed to flash fires[J]. Textile Research Journal, 2012, 82: 1235-1243.
- [4] 张欢. 阻燃织物热湿舒适性及热防护性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [5] 楼利琴, 励宏, 黄锐镇. 不同混纺比芳纶、芳砜纶隔热层水刺非织造布性能分析[J]. 纺织学报, 2013, 34(6): 46-50.
- [6] 李甜, 杨建忠. 多层阻燃织物整体热防护性能初探[J]. 高科技纤维与应用, 2014, 39(3): 59-62.
- [7] 赵书林, 杜红丽. 芳纶/阻燃粘胶混纺对比织物阻燃性能的影响[J]. 纺织学报, 2006, 27(12): 74-76.
- [8] 赖军, 张梦莹, 张华, 等. 消防服下空气层的作用与测定方法研究进展[J]. 纺织学报, 2017, 38(6): 151-156.
- [9] 朱方龙, 王秀娟, 张启泽, 等. 火灾环境下应急救援防护服传热数值模拟[J]. 纺织学报, 2009, 30(4): 106-110.
- [10] 李红燕, 吴宣润, 张渭源, 等. 热防护服织物性能与综合防护能力的关系[J]. 纺织学报, 2008, 29(9): 59-61, 71.