

基于 Borda 法的阻燃织物与应用领域适配性分析

沈卓颖<sup>1</sup>, 金艳苹<sup>\*1,2</sup>, 龙夏磊<sup>1</sup>  
(1. 浙江理工大学 服装学院,浙江 杭州 310018; 2. 义乌工商职业技术学院 创意设计学院,浙江 义乌 322000)

**摘 要:**为探索不同阻燃整理方式对织物性能的影响以及各类阻燃织物在不同领域的适用性,基于3种阻燃整理方式,选取8种不同纤维的12个阻燃织物样本,测试织物的阻燃性能、力学性能、透气性和透湿性;运用模糊 Borda 组合评价法对织物的领域适用性进行评价。结果表明:所选12个织物样本中,除 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 外的9个织物可作为阻燃织物,其中 H<sub>1</sub>、H<sub>4</sub> 和 C<sub>3</sub> 织物的阻燃性能最好,T<sub>3</sub> 的力学性能最好,C<sub>4</sub> 织物的透气性能最好,H<sub>3</sub> 和 H<sub>4</sub> 织物的透湿性能最好。各类阻燃织物均适合交通工具内饰用织物领域,综合考虑成本因素,涂层阻燃织物较为合适;m(腈氯纶):m(芳纶 1313):m(抗静电纤维)=75:23:2 的面料在各个领域都最为适用。  
**关键词:** 阻燃织物;阻燃整理方式;力学性能;阻燃性能;模糊 Borda 组合评价法;适配性  
**中图分类号:** TS 101.8; TS 101.923 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2021)04-0298-07

Adaptability Analysis of Flame-Retardant Fabric and Application Fields Based on Fuzzy Borda Method

SHEN Zhuoying<sup>1</sup>, JIN Yanping<sup>\*1,2</sup>, LONG Xialei<sup>1</sup>  
(1. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. School for Creative Studies, Yiwu Industrial and Commercial College, Yiwu 322000, China)

**Abstract:** To explore the influence of different flame retardant finishing methods on fabric properties and the applicability of various flame retardant fabrics in different fields, 12 samples of flame retardant fabrics with 8 different fibers were selected based on three kinds of flame retardant finishing methods to test the flame retardant properties, mechanical properties, air permeability and moisture permeability of the fabrics. The applicability was evaluated by fuzzy Borda evaluation method. The results show that nine kinds of fabrics except for three fabrics T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>, can be used as flame retardant fabrics. Furthermore, the flame retardant properties of fabrics H<sub>1</sub>, H<sub>4</sub> and C<sub>3</sub> are best. The mechanical properties of fabric T<sub>3</sub> are the best. Fabrics C<sub>4</sub> shows the best air permeability properties. Fabrics H<sub>3</sub> and H<sub>4</sub> have the best moisture permeability. According to the Borda method, all kinds of flame retardant fabrics are suitable for the field of vehicle interior fabrics. However, considering the cost, the coating flame retardant fabric are suitable choice. The fabrics with a 75:23:2 blending ratio of modacrylic fiber, Nomex and antistatic fiber are suitable in various fields.  
**Key words:** flame-retardant fabrics, flame-retardant finishing methods, mechanical properties, flame-retardant properties, fuzzy Borda method, suitability

随着社会的发展和科技的进步,人们对纺织品的需求已不再局限于服用等基本功能<sup>[1]</sup>,具有抗菌、阻燃、芳香等功能性纺织品应运而生。阻燃纺织品可以在一定程度上降低其可燃烧性,已被广泛

运用于军事、工业、家纺等多个领域。目前,纺织品的阻燃整理方法分为混纺阻燃纤维法和织物后整理法,其中后整理方法有浸轧法、浸渍法、涂布法等<sup>[2-5]</sup>。阻燃整理方法在赋予织物阻燃性能的同

时,可能会导致其力学性能和舒适性等其他服用性能下降<sup>[6-8]</sup>。

消防、工业生产、室内装饰等不同应用领域对阻燃织物性能的要求不同。如消防服用织物需要具备优异的热防护性和热湿舒适性,以确保消防员的生命安全<sup>[9]</sup>;针对焊接过程中常出现熔融金属飞溅现象,焊接防护服用织物需兼顾阻燃性和力学性<sup>[10]</sup>;同样,窗帘等家纺产品所用面料需要具有良好的力学性能和阻燃性能<sup>[11]</sup>;国家对汽车内饰面料的燃烧性能有强制标准要求,选择阻燃剂时要考虑阻燃整理对面料表面质量的影响<sup>[12]</sup>。因此,织物在进行阻燃功能性整理时,需要与织物应用领域的需求相结合。目前,阻燃整理方式较多,但是各类阻燃织物在不同领域的适用性尚不明确,因此在未完全实现功能性和服用性兼顾的情况下,研究阻燃织

物加工方法与其适用领域之间的关系具有一定的现实意义。文中通过测定目前市场上常见的 12 种不同阻燃整理方式制得阻燃织物的性能,分析其优劣,研究阻燃整理方式与阻燃织物性能之间的关系,从而为不同阻燃整理方法所得织物的适用性提供一定参考。

# 1 材料与方法

## 1.1 原料与仪器

**1.1.1 样品** 按阻燃整理方式的不同,选取市场上常见的 12 种阻燃织物。其中 T 类样品(T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>,T<sub>3</sub>,T<sub>4</sub>)为涂层整理工艺所得织物,H 类样品(H<sub>1</sub>,H<sub>2</sub>,H<sub>3</sub>,H<sub>4</sub>)为浸轧整理工艺所得织物,C 类样品(C<sub>1</sub>,C<sub>2</sub>,C<sub>3</sub>,C<sub>4</sub>)为混纺再织造工艺所得织物。织物样品具体规格见表 1。

表 1 织物样品规格  
Tab.1 Material specifications

阻燃整理工艺	织物编号	成 分	阻燃剂成分
涂层整理工艺	T <sub>1</sub>	涤纶	PA 浆料
	T <sub>2</sub>	涤纶	PU 浆料
	T <sub>3</sub>	涤纶	PU 浆料
	T <sub>4</sub>	涤纶	PUA 浆料
浸轧整理工艺	H <sub>1</sub>	全棉	三聚氰胺基
	H <sub>2</sub>	$m(\text{棉}):m(\text{酰胺})=90:10$	四羟甲基氯化磷
	H <sub>3</sub>	全棉	四羟甲基氯化磷
	H <sub>4</sub>	$m(\text{棉}):m(\text{防静电纤维})=99.8:0.2$	四羟甲基氯化磷
混纺再织造工艺	C <sub>1</sub>	芳纶 1313	
	C <sub>2</sub>	$m(\text{聚丙烯腈氨纶}):m(\text{棉}):m(\text{锦纶}):m(\text{抗静电纤维})=60:34.6:5:0.4$	
	C <sub>3</sub>	$m(\text{聚丙烯腈氨纶}):m(\text{芳纶 1313}):m(\text{抗静电纤维})=75:23:2$	
	C <sub>4</sub>	$m(\text{芳纶 1313}):m(\text{芳纶 1414}):m(\text{抗静电纤维})=93:5:2$	

**1.1.2 仪器** YG(B)815D-I 阻燃性能测试仪,YG(B)216-II 织物透湿量测试仪,皆由温州大荣纺织仪器有限公司制造;YG026PC-250 万能强力仪,温州方圆仪器有限公司制造;YG522N 耐磨性测试仪,宁波纺织仪器厂制造;FX 3300 IV 透气性测试仪,上海灏兴科技有限公司制造。

## 1.2 实验方法

每组实验重复 3 次,测试结果取平均值。

**1.2.1 阻燃性能测试** 根据 GB/T 5455—2014《纺织品 阻燃性能垂直方向损毁长度、阴燃和续燃时间的测定》,采用阻燃性能测试仪测试 12 种面料的续燃时间、阴燃时间和损毁长度。测试条件:温度 20±10℃,相对湿度 55%±25%。

**1.2.2 力学性能测试** 根据 GB/T 3923.1—2013《纺织品 织物拉伸性能 第 1 部分:断裂强力和断裂伸长率的测定(条样法)》,采用万能强力仪测试 12

种面料的断裂强力和伸长率。

根据 GB/T 21196.1—2007《纺织品 马丁代尔法织物耐磨性的测定 第 1 部分:马丁代尔耐磨试验机》,采用耐磨性测试仪测定 12 种面料的耐磨性能。测试条件:温度 25±5℃,相对湿度 65%±5%。

**1.2.3 透气性测试** 按照 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》,采用透气性测试仪对 12 种织物的透气率进行测定。测试条件:温度 25±5℃,湿度 65%±5%,恒温恒湿条件下调湿 24 h 以上。

**1.2.4 透湿性测试** 按照 GB/T12704.1—2009《纺织品 织物透湿性试验方法 第 1 部分:吸湿法》,采用透湿量测试仪对 12 种织物的透湿率进行测定。试样在温度 25±5℃,相对湿度 65%±5%条件下调湿 24 h 以上。测试条件:温度 38±2℃,湿度 90%±4%。透湿率的计算公式如下:

$$v_{\text{WVT}}=\frac{24\times\Delta m}{S\times t}$$

(1)

式中: $v_{\text{WVT}}$ 为透湿率,单位  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ; $\Delta m$  为同一实验组合体两次称量之差,单位  $\text{g}$ ; $S$  为有效实验面积(本次实验装置面积为  $28.3 \text{ cm}^2$ ),单位  $\text{cm}^2$ ; $t$  为实验时间,单位  $\text{d}$ 。

1.3 适用性评价方法

文中采用模糊 Borda 组合评价法(Borda 法),评价各样品在阻燃防护用品、交通工具内饰用织物、装饰用织物 3 大领域中的适配性。

Borda 法是对论域  $U = \{u_1, u_2, u_3, \cdots, u_m\}$  中的  $m$  个元素进行评价,从而获得新的序列  $L_i$ ,计算  $U$  中每个元素的 Borda 数,即

$$B(X) = \sum_{i=1}^n B_i(X)$$

(2)

表 2 织物垂直燃烧法测试结果

Tab.2 Results of vertical combustion test of fabrics

织物编号	续燃时间/s				阴燃时间/s				损毁长度/mm			
	经向	误差	纬向	误差	经向	误差	纬向	误差	经向	误差	纬向	误差
T <sub>1</sub>	15.4	0.3	17.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	122.0	5.0	130.0	7.0
T <sub>2</sub>	54.4	1.7	58.8	1.5	1.7	0.1	1.5	0.3	266.0	14.0	253.0	14.0
T <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	86.0	4.0	57.0	3.0
T <sub>4</sub>	1.3	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	147.0	3.0	151.0	9.0
H <sub>1</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.0	2.0	49.0	3.0
H <sub>2</sub>	47.1	1.2	51.1	1.1	2.3	0.1	5.3	0.2	300.0	12.0	300.0	11.0
H <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	46.0	3.0	43.0	3.0
H <sub>4</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	29.0	4.0	32.0	1.0
C <sub>1</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.6	0.1	58.0	6.0	57.0	2.0
C <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	0.2	9.8	0.1	83.0	10.0	94.0	4.0
C <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	0.0	28.0	3.0	25.0	1.0
C <sub>4</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0	58.0	8.0	57.0	6.0

注:所有织物在测试过程中未出现熔融滴落现象。

由表 2 可以看出,不同阻燃整理方式对织物的阻燃性能影响不同,即使在阻燃整理方式相同的情况下,由于使用的阻燃剂或阻燃纤维不同,织物的阻燃性能也有差异。对照相关标准<sup>[13-15]</sup>,T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 织物的续燃时间未达到要求。这是可能因为 T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 织物中阻燃剂用量少,起不到阻燃效果。

T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 织物的阴燃时间相近,且与 B<sub>1</sub> 级阻燃织物的要求以及 A 级防护服、焊接服的要求相符;两种织物的续燃时间虽有一定差距,但也均符合 B<sub>1</sub> 级阻燃织物的要求;两种织物的损毁长度均达到 B<sub>1</sub> 级装饰类和飞机轮船内饰用织物的阻燃标准,且符合 C 级阻燃服和焊接服的要求。

H<sub>1</sub> 和 H<sub>3</sub> 织物的续燃和阴燃时间相近,且与 B<sub>1</sub> 级阻燃织物的要求以及 A 级的防护服、焊接服的要求相符。从阻燃性能上判断,H<sub>1</sub> 和 H<sub>3</sub> 织物中所使用的阻燃剂均能极大地提高棉织物的阻燃性能。由于棉织物手感柔软,所制成的服装穿着舒适性较

式中, $X \in U$ , $B_i(X)$  表示在序列  $L_i$  中位于  $X$  之后的元素个数。

Borda 数越大,表明元素的综合效果越佳。为提高决策效果,联合采用加权算法,即

$$B(X) = \sum_{i=1}^n B_i(X) \omega_i(X)$$

(3)

式中: $\omega_i(X)$  为序列  $L_i$  的权系数。

论域  $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7, U_8, U_9\}$ 。

2 结果与讨论

2.1 阻燃性能

12 种织物的阻燃性能测试结果见表 2 所示。

好,因此 H<sub>1</sub> 和 H<sub>3</sub> 织物可以作为阻燃服和焊接服面料的备选织物。H<sub>4</sub> 织物的阻燃性能优于 H<sub>1</sub> 和 H<sub>3</sub> 织物,符合 A 级阻燃服和焊接服的标准。

C<sub>1</sub> 与 C<sub>4</sub> 织物在阻燃纤维占比上存在细微差距,但两者的阻燃效果相近,续燃时间和阴燃时间达到了 A 级阻燃服和焊接服的标准;但其损毁长度只能满足装饰类织物和飞机、轮船内饰用织物的要求,以及 C 级阻燃服和焊接服的要求。C<sub>2</sub> 和 C<sub>3</sub> 同为聚丙烯腈氨纶混纺织物,但混纺纤维成分与占比不同,两者的阻燃效果有着明显的差距。C<sub>2</sub> 织物的阴燃时间和损毁长度较长,属于 B<sub>2</sub> 级装饰类织物和飞机、轮船内饰用织物;C<sub>3</sub> 织物符合 B<sub>1</sub> 级飞机、轮船内饰用织物和装饰类织物标准,以及 A 级阻燃服和焊接服的标准,作为飞机、轮船内饰用织物和装饰类织物的优先级更高。

2.2 力学测试

2.2.1 拉伸性能 织物断裂强力和伸长率测试结果见表 3 和表 4。

表 3 织物断裂强力测试结果

Tab.3 Results of tensile strength test of fabrics

单位:N

织物编号	经向断裂强力	误 差	纬向断裂强力	误 差	经纬向断裂强力平均值
T <sub>1</sub>	867.8	62.1	107.5	2.4	487.7
T <sub>2</sub>	1 953.1	12.2	993.9	22.6	1 473.5
T <sub>3</sub>	1 758.2	83.3	1351.9	47.3	1 555.1
T <sub>4</sub>	799.7	1.8	399.7	15.3	599.7
H <sub>1</sub>	964.0	32.1	454.7	20.5	709.4
H <sub>2</sub>	937.4	15.4	1 008.3	35.7	972.9
H <sub>3</sub>	681.8	32.0	480.0	5.0	580.9
H <sub>4</sub>	786.6	56.0	1 088.0	58.2	937.3
C <sub>1</sub>	1 001.3	30.3	1 097.6	35.4	1 049.5
C <sub>2</sub>	968.9	49.6	617.3	14.3	793.1
C <sub>3</sub>	1 318.5	28.5	1 003.8	67.1	1 161.2
C <sub>4</sub>	789.2	12.0	1 128.9	34.4	959.1

表 4 织物断裂伸长率测试结果

Tab.4 Results of tensile strength test of fabrics

单位:%

织物编号	经向伸长率	误 差	纬向伸长率	误 差	经纬向伸长率平均值
T <sub>1</sub>	105.6	7.2	159.0	12.6	132.3
T <sub>2</sub>	62.4	0.5	64.8	0.5	63.6
T <sub>3</sub>	34.8	2.0	27.5	0.7	31.1
T <sub>4</sub>	33.9	1.1	19.5	0.2	26.7
H <sub>1</sub>	10.4	0.3	14.2	0.3	12.3
H <sub>2</sub>	20.3	0.4	24.4	0.5	22.4
H <sub>3</sub>	12.7	0.9	11.6	0.2	12.2
H <sub>4</sub>	16.6	0.4	12.5	0.3	14.6
C <sub>1</sub>	37.6	1.7	26.9	0.2	32.3
C <sub>2</sub>	17.4	0.6	23.9	0.1	20.7
C <sub>3</sub>	13.7	0.2	13.3	0.3	13.5
C <sub>4</sub>	23.0	0.3	30.0	0.9	26.5

由文献[9-11]可知,阻燃防护服用织物断裂强力应不低于 450 N,座椅用织物断裂强力应不低于 250 N,其他领域断裂强力最低为 180 N。因此,12 种织物的断裂强力均能够满足阻燃防护用品对断裂强力的要求。

由表 3 可以看出,T<sub>2</sub>,T<sub>3</sub> 织物的断裂强力明显大于 T<sub>1</sub>,T<sub>4</sub> 织物的。这是因为 PA 涂层具有较好的黏着力,PU 涂层有较好的拉伸性能,PUA 材料同时具有两者的共同点。因此,当涂层黏着力较好时,织物受到力的作用,涂层易被拉破;而 PU 涂层具有较好的拉伸性能,使其断裂需要更大的作用力。

对比同为全棉的 H<sub>1</sub> 和 H<sub>3</sub> 织物,H<sub>1</sub> 织物的断裂强力大于 H<sub>3</sub> 织物的。这是因为 H<sub>1</sub> 织物使用的化学阻燃剂是三聚氰胺,可一定程度提高棉织物的断裂强力。H<sub>2</sub> 和 H<sub>4</sub> 织物使用了同种阻燃剂进行阻燃整理,两者的断裂强力相近,但伸长率差距较大。这说明将棉纤维与其他非阻燃纤维混纺对织物的

断裂强力影响较小,但对伸长率有一定的影响。

比较 C<sub>1</sub> 和 C<sub>4</sub> 织物可以看出,不同种类纤维混纺的织物,其中芳纶纤维的种类和比例对织物的拉伸性能影响较小。对比 C<sub>2</sub> 和 C<sub>3</sub> 织物可以发现,C<sub>2</sub> 织物的断裂强力比 C<sub>3</sub> 织物的小,但其伸长率高于 C<sub>3</sub> 织物的。由此推断,阻燃纤维的种类和混纺比例对混纺的阻燃织物的拉伸性能有一定的影响。

**2.2.2 耐磨性** 各种织物耐磨性测试结果如图 1 所示。由图 1 可看出,同样为 100% 涤纶织物,T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>,T<sub>3</sub> 织物的耐磨性明显高于 T<sub>4</sub> 织物的。这是因为与 PA 和 PU 涂层相比,PUA 涂层厚度较小,故用其作为阻燃剂制备的涂层织物 T<sub>4</sub> 的耐磨性较差。

H<sub>1</sub> 和 H<sub>3</sub> 织物均是棉织物,但耐磨性存在一定差距,这是因为四羟甲基氯化磷阻燃剂对棉织物的耐磨性影响较大。同样运用四羟甲基氯化磷阻燃剂,H<sub>2</sub> 织物的耐磨性优于 H<sub>4</sub> 织物,说明棉含量低、酰胺含量高的织物耐磨性好。

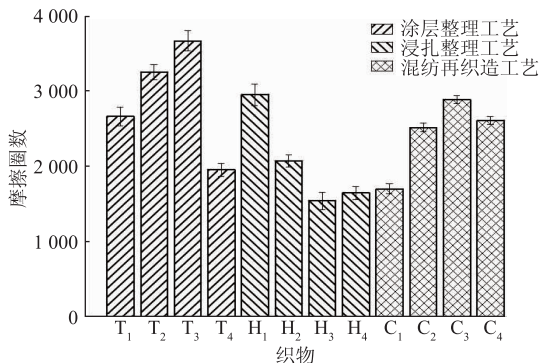


图 1 织物耐磨性

Fig. 1 Wear resistance of fabrics

由图 1 可知,采用混纺再织造工艺制备的 4 种织物中,C<sub>3</sub> 的耐磨性略高于 C<sub>4</sub>,C<sub>4</sub> 的耐磨性明显高于 C<sub>1</sub>;结合表 1 可知,C<sub>1</sub> 是由纯芳纶 1313 纺制而成,C<sub>4</sub> 是将芳纶 1313、芳纶 1414 和防静电纤维混纺而成,由此可以推断,在芳纶 1313 中混纺芳纶 1414 和防静电纤维可以提高织物耐磨性。同为芳纶 1313 和防静电纤维混纺的 C<sub>3</sub> 和 C<sub>4</sub> 织物,C<sub>3</sub> 织物中芳纶含量低,且有 75% 的聚丙烯腈氨纶纤维。芳纶 1313 耐磨性较差,而聚丙烯腈氨纶耐磨性较好,所以芳纶 1313 含量越低,聚丙烯腈氨纶越高,耐磨性越好。

### 2.3 透气性能测试结果与分析

各织物透气性测试结果如图 2 所示。

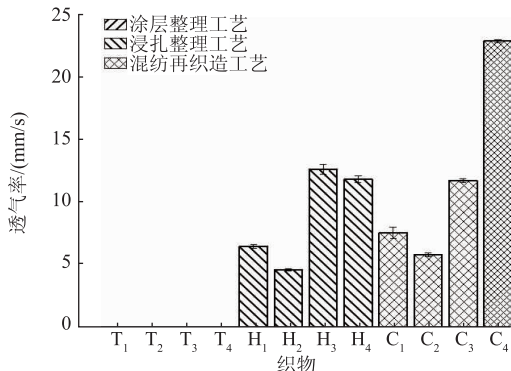


图 2 织物透气性

Fig. 2 Air permeability of fabrics

由图 2 可以看出,涂层整理工艺处理的 4 种织物的透气性明显低于其他 8 种非涂层阻燃整理织物。这是因为涂层整理工艺主要通过将涂层附着在织物表面来阻断织物两边空气的流通,经过涂层整理后的织物透气性能变差。

H<sub>1</sub> 和 H<sub>3</sub> 织物同为棉织物,但是 H<sub>1</sub> 织物的透气性比 H<sub>3</sub> 织物的差,这是因为三聚氰胺阻燃剂浸轧所得的织物透气性较差。H<sub>2</sub> 和 H<sub>4</sub> 织物虽然使用了相同的阻燃剂进行整理,但 H<sub>4</sub> 织物的透气量比 H<sub>2</sub> 织物的,这是因为 H<sub>4</sub> 织物的含棉量更高,透气性

更好。

使用混纺再织造工艺制备的 4 种织物中,C<sub>4</sub> 的透气性最好;结合表 1 可知,C<sub>1</sub>,C<sub>3</sub>,C<sub>4</sub> 成分中均含有芳纶 1313,且 C<sub>3</sub> 和 C<sub>4</sub> 还共同含有防静电纤维,而 C<sub>4</sub> 的透气性最好。这说明,将芳纶 1313 与芳纶 1414 和防静电纤维混纺可以改善织物的透气性。

### 2.4 透湿性能测试结果与分析

各织物透湿性能测试结果如图 3 所示。

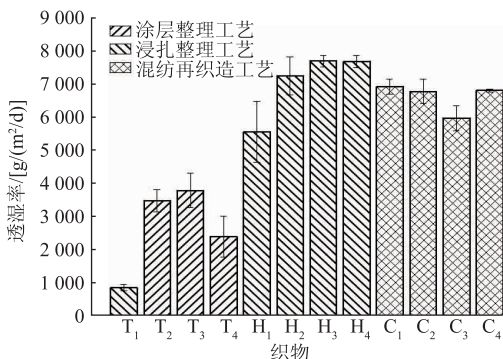


图 3 织物透湿性

Fig. 3 Moisture permeability of fabrics

由图 3 可以看出,4 种涂层整理工艺类织物中,T<sub>1</sub> 织物透湿率最低,T<sub>2</sub> 织物和 T<sub>3</sub> 织物的透湿率较高,说明涂层阻燃剂不同导致织物透湿率不同。PU 涂层由于其多孔性使之具有优于其他两种涂层的透湿性,因此改变涂层阻燃剂的种类可以提高织物的透湿率。

H<sub>3</sub> 织物和 H<sub>4</sub> 织物的透湿率均高于 H<sub>2</sub> 织物,这是因为其含棉量较高,透湿性较好。H<sub>1</sub> 织物的透湿率最低,说明三聚氰胺阻燃剂浸轧所得织物透湿性比四羟甲基氯化磷阻燃剂浸轧的织物差。

H<sub>2</sub>,H<sub>3</sub> 和 H<sub>4</sub> 织物的透湿率差距较小,说明混纺纤维和混纺比例对织物的透湿率影响较小。且 C<sub>1</sub> 和 C<sub>4</sub>、C<sub>2</sub> 和 C<sub>3</sub> 织物的透湿率相近也为以上结论提供证明。

### 2.5 适配性评价结果与分析

由于 T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 织物的续燃时间未达到标准,不再对其进行讨论。论域  $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7, U_8, U_9\} = \{\text{织物 } T_3, \text{织物 } T_4, \text{织物 } H_1, \text{织物 } H_3, \text{织物 } H_4, \text{织物 } C_1, \text{织物 } C_2, \text{织物 } C_3, \text{织物 } C_4\}$ 。9 种织物的性能测试结果见表 5。

焊接服是焊接工人工作时所穿的具有防护性能的防护服装,其对防护服用织物的阻燃性能、断裂强力、透湿性均有一定要求,尤其是织物的阻燃性能。因此在计算过程中损毁长度、断裂强力和透湿率 3 个性能的加权的系数分配较大。损毁长度、

断裂强力、耐磨性、透气性、透湿性的加权系数分别为:0.4,0.2,0.1,0.1,0.2。

室内装饰用织物应有一定的阻燃性,一旦发生火灾可以减缓火势的蔓延,为消防员争取救援和灭火的时间,在一定程度上减少火灾造成的财产损失

和人员伤亡。装饰用织物对断裂强力、透气性要求比其他性能高,因此在计算过程中断裂强力、透气率的加权的系数分配较大。损毁长度、断裂强力、耐磨性、透气性、透湿性的加权系数分别为:0.2,0.3,0.1,0.3,0.1。

表 5 织物性能测试结果  
Tab.5 Results of properties of fabrics

指 标	损毁长度/mm	断裂强力/N	摩擦圈数	透气率/(mm/s)	透湿率/[g/(m <sup>2</sup> /d)]
$U_1$	71.5	1 555.1	3 865	0.1	3 800.0
$U_2$	149.0	599.7	1 971	0.1	2 409.4
$U_3$	47.5	709.4	2 967	6.4	5 570.1
$U_4$	44.5	580.9	1 558	12.6	7 692.0
$U_5$	30.5	937.3	1 662	11.8	7 679.9
$U_6$	57.5	1 049.5	1 718	7.5	6 923.1
$U_7$	88.5	793.1	2 535	5.8	6 779.5
$U_8$	26.5	1 161.2	2 901	11.7	5 979.0
$U_9$	57.5	959.1	2 628	22.8	6 806.6

交通工具内由于空间狭小、人口密度高,一旦发生火灾,会造成严重后果,因此其内饰用织物需要较高的强力及耐磨性,所以在计算过程中断裂强力和耐磨性的加权的系数分配较大。损毁长度、断裂强力、耐磨性、透气性、透湿性的加权系数分别为:0.2,0.3,0.3,0.1,0.1。

根据不同领域对相关性能的加权系数,可以计算得到各织物试样在 3 个领域的适配性 Borda 数,具体数值见表 6。

表 6 适配性测试  
Tab.6 Suitability test

$B(X)$	阻燃防护服织物	装饰用织物	交通工具内饰用织物
$U_1$	3.4	3.5	3.5
$U_2$	0.4	0.7	0.7
$U_3$	3.8	3.4	5.2
$U_4$	4.7	4.1	2.7
$U_5$	5.8	5.3	4.5
$U_6$	4.7	4.7	4.5
$U_7$	2.4	2.5	2.9
$U_8$	6.3	6.1	6.3
$U_9$	4.5	5.5	4.9

按各项指标优劣对  $U_1$  至  $U_9$  排序,  $C_3$  织物较适合做阻燃服和焊接服的面料,  $T_4$  织物适配性最低,  $C$  类织物和  $H$  类织物与装饰用织物的适配性较高。装饰用织物适用性较高的是  $C_3$ 、 $C_4$  和  $H_4$  织物,且通过混纺再织造工艺制得的织物与装饰用织物的适配性较高。交通工具内饰用织物的适用性最高的是  $C_3$ 、 $H_1$  和  $C_4$  织物;  $C_3$  织物同样最适合做交通工具内饰用织物的面料,总体上 3 类织物均与交通工具内饰用织物有较好的适配性。

### 3 结 语

通过对 12 种织物性能测试发现,市面上所售的

大部分阻燃织物均有较好的阻燃效果,达到研究领域阻燃织物的标准,但发现也有少部分未达到相关领域阻燃织物标准。在除  $T_1$ 、 $T_2$  和  $H_2$  织物外的 9 种织物中,  $C_3$  损毁长度最短,  $H_1$ 、 $H_4$ 、 $C_3$  织物的阻燃性能均较好;  $T_3$  织物断裂强力最大,耐磨性最好;  $C_4$  织物的透气性能最好,  $H_3$  和  $H_4$  织物的透湿性能较好。

根据 Borda 法得出混纺再织造工艺制得的织物较适合阻燃防护服领域,混纺再织造工艺制得的织物和浸轧整理工艺得到的阻燃织物较适合装饰用织物领域,各类阻燃织物均适合交通工具内饰用织物领域,若考虑成本,则涂层整理工艺类阻燃织物更为合适。 $m$ (腈氯纶): $m$ (芳纶 1313): $m$ (抗静电纤维) = 75:23:2 的面料在各个领域都最为适用。

#### 参考文献:

[ 1 ] SAKTHIVEL J C, ANBUMANI N. Dimensional properties of single jersey knitted fabrics made from new and regenerated cellulosic fibers[J]. Journal of Textile and Apparel Technology and Management, 2012, 7(3): 1-10.

[ 2 ] HRIBERNIK S, SMOLE M S, KLEINSCHEK K S, et al. Flame retardant activity of SiO<sub>2</sub>-coated regenerated cellulose fibres[J]. Polymer Degradation and Stability, 2007, 92(11): 1957-1965.

[ 3 ] 任元林, 张悦, 曾倩, 等. 织物阻燃涂层新工艺的研究进展[J]. 纺织学报, 2017, 38(9): 168-173.  
REN Yuanlin, ZHANG Yue, ZENG Qian, et al. Research progress of new processes of flame retardant fabrics coating[J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(9): 168-173. (in Chinese)

[ 4 ] CHAN S Y, SI L P, LEE K I, et al. A novel boron-nitrogen intumescent flame retardant coating on cotton with improved washing durability [J]. Cellulose, 2018, 25

- (1): 843-857.
- [5] 乔辉, 沈忠安, 孙显康, 等. 功能性服装面料研究进展[J]. 服装学报, 2016, 1(2): 127-132.
- QIAO HUI, SHEN Zhongan, SUN Xiankang, et al. Research for functional garment material[J]. Journal of Clothing Research, 2016, 1(2): 127-132. (in Chinese)
- [6] 郭迎宾, 李行, 钟安阳, 等. 几种含磷阻燃剂对高抗冲聚苯乙烯/氢氧化镁复合材料燃烧性能的影响[J]. 塑料科技, 2018, 46(6): 118-122.
- GUO Yingbin, LI Hang, ZHONG Anyang, et al. Effect of several phosphorus-containing flame retardants on the fire behavior of HIPS/MH composites[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(6): 118-122. (in Chinese)
- [7] 王冬青. 阻燃整理对纯棉与纯涤纶织物性能影响的研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2012: 41-46.
- [8] 马崇启, 蔡薇琦, 阚永霞. 酚醛纤维织物热湿舒适性的灰色聚类分析[J]. 纺织学报, 2016, 37(12): 29-32.
- MA Chongqi, CAI Weiqi, KAN Yongjia. Gray clustering analysis on thermal-moisture comfort of phenolic fiber fabrics[J]. Journal of Textile Research, 2016, 37(12): 29-32. (in Chinese)
- [9] 金艳苹, 陈诚毅, 刘林玉. 反热辐射层对消防服织物组合热防护和舒适性能的优化[J]. 印染, 2019, 45(12): 11-15.
- JIN Yanping, CHEN Chengyi, LIU Linyu. Optimization of thermal protection and comfort of fabric combination with anti-thermal radiation layer for fireman clothing[J]. China Dyeing and Finishing, 2019, 45(12): 11-15. (in Chinese)
- [10] 李文辉, 汪泽幸, 王曼青, 等. 熔融金属喷溅防护服的发展现状与趋势[J]. 棉纺织技术, 2020, 48(5): 75-80.
- LI Wenhui, WANG Zexing, WANG Manqing, et al. Development status and trend of molten metal splash protective clothing[J]. Cotton Textile Technology, 2020, 48(5): 75-80. (in Chinese)
- [11] 毛倩, 周捷, 李健, 等. 基于灰色近优法的涤棉窗帘阻燃整理参数优化[J]. 棉纺织技术, 2019, 47(10): 59-62.
- MAO Qian, ZHOU Jie, LI Jian, et al. Flame retardant finishing parameter optimization of polyester cotton curtain based on grey near optimal method[J]. Cotton Textile Technology, 2019, 47(10): 59-62. (in Chinese)
- [12] 吴双全, 王楠, 谢珊山, 等. 汽车内饰纺织品整理技术研究与应用进展[J]. 针织工业, 2020(7): 56-59.
- WU Shuangquan, WANG Nan, XIE Shanshan, et al. Research and application progress of finishing technology for automotive interior textile[J]. Knitting Industries, 2020(7): 56-59. (in Chinese)
- [13] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 阻燃织物: GB/T 17591—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 防护服装 阻燃防护 第1部分: 阻燃服: GB 8965.1—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 防护服装 阻燃防护 第2部分: 焊接服: GB 8965.2—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009. (责任编辑: 邢宝妹)

(上接第297页)

- [24] 黄冬梅, 何松. 空气层位置对消防战斗服隔热性能的影响[J]. 纺织学报, 2015, 36(10): 113-119.
- HUANG Dongmei, HE Song. Influence of air gap position on heat insulation performance of firefighters' protective clothing[J]. Journal of Textile Research, 2015, 36(10): 113-119. (in Chinese)
- [25] DILLER K R, HAYES L J. Analysis of tissue injury by burning: comparison of in situ and skin flap models[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1991, 34(6): 1393-1406.
- [26] SONG G, BARKER R, THOMPSON D. Comparison of methods used to predict the burn injuries in tests of thermal protective fabrics[J]. Journal of ASTM International, 2005, 2(2): 1-10.
- [27] 苏云, 杨杰, 李睿, 等. 热辐射暴露下消防员的生理反应及皮肤烧伤预测[J]. 纺织学报, 2019, 40(2): 147-152.
- SU Yun, YANG Jie, LI Rui, et al. Predictions of physiological reaction and skin burn of firefighter exposing to thermal radiation[J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(2): 147-152. (in Chinese)
- [28] 付明. 高温热辐射环境中人员热防护机理与热安全评估研究[D]. 北京: 清华大学, 2015.
- [29] PENNES H H. Analysis of tissue and arterial blood temperatures in the resting forearm[J]. Journal of Applied Physiology, 1948, 1(2): 93-122.
- [30] TORVI D A, DALE J D. A finite element model of skin subjected to a flash fire[J]. Journal of Biomechanical Engineering, 1994, 116(3): 250-255.
- [31] HENRIQUES F C, MORITZ A R. Studies of thermal injury: I. the conduction of heat to and through skin and the temperatures attained therein. a theoretical and an experimental investigation[J]. The American Journal of Pathology, 1947, 23(4): 530-549.
- [32] WEAVER J A, STOLL A M. Mathematical model of skin exposed to thermal radiation[J]. Aerospace Medicine, 1969, 40(1): 24-30. (责任编辑: 邢宝妹)