

文章编号: 0253-9721(2008)09-0056-04

强热流量下耐热阻燃织物的热防护性能

崔志英, 张渭源

(东华大学 服装学院, 上海 200051)

摘要 利用 CSI-206 热防护性能测试仪对 Nomex、PBI、Kermel、芳砜纶、阻燃棉等织物的热防护性能进行测试, 分析不同的热流量、静止空气层、纤维种类、织物厚度、质量、透气性对热防护性能的影响。实验表明: 纤维的种类、总热流量的大小是影响织物热防护性能的主要因素; 随着织物厚度和质量的增加, 织物 TPP 值增大, 而随着透气性的增加, TPP 值减小。

关键词 耐热阻燃织物; 热防护性能; 热流量; 物理特性

中图分类号: TS 195.17 文献标识码: A

Thermal protective performance of heat and flame resistant fabrics in flame exposure

CUI Zhiying, ZHANG Weiyuan

(Fashion Institute, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract The thermal protective performance of 13 heat and flame resistant fabrics made with aromatic polyamide (aramid), polybenzimidazole (PBI), Kermel, PSA, flame-resistant cotton, and blends of Kermel with flame retardant rayon fibers was evaluated in laboratory tests using flame exposures to convective and radiant heat sources. Factors such as heat flux, stillness air layer, fiber type, fabric thickness, weight of fabric, and air permeability were discussed. Experimental results revealed that fiber type, heat flux were important variables. With the weight and thickness increasing, TPP was increasing. However, air permeability was negative for TPP.

Key words heat and flame resistant fabric; thermal protective performance; heat flux; physical property

随着社会的发展, 耐热阻燃织物的防护性越来越受到人们的重视。保护人体不受火焰的伤害或减小火焰对人体的伤害, 要求织物不仅具有阻燃性, 而且还具有优异的隔热性^[1-3]。本文利用 CSI-206 热防护性能测试仪, 研究耐热阻燃织物在火焰暴露下的热防护性能, 探讨织物物理特性与热防护性能之间的关系, 以及不同热流量条件下织物热防护性能的变化, 从而为合理地开发与选择耐热阻燃织物提供参考。

1 实验

1.1 试样

试样及其物理特性如表 1 所示, 选用目前常用

于热防护服的耐热阻燃织物, 如 Nomex III A、Kermel、PBI、芳砜纶(PSA)、阻燃棉等织物。

1.2 实验方法

1.2.1 热防护性能的测试

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 CSI-206 热防护性能测试仪, 其构造原理见图 1。测试仪主要由气体燃烧器和石英灯管、热源预屏蔽装置、试样夹持装置、热量计和绘图记录仪组成。测试仪的热源由气体燃烧器和石英管提供, 它包括 2 个与水平成 45°位置放置的气体燃烧器, 以及在它们之间排列的 9 根红外石英管。

表 1 织物的物理特性

Tab.1 Physical properties of fabrics

试样号	主要成分	组织结构	面密度/ ($g \cdot m^{-2}$)	厚度/ mm	透气性/ ($mm \cdot s^{-1}$)
1	Nomex III A	平纹	150	0.46	307.0
2	Nomex III A	斜纹	210	0.64	153.4
3	PBI/Kevlar/Nomex	平纹	199	0.55	172.3
4	阻燃棉	斜纹	220	0.67	85.2
5	Kermel	斜纹	195	0.53	195.0
6	Kermel	平纹	150	0.49	469.7
7	Kermel/粘	斜纹	207	0.56	118.2
8	芳砜纶(PSA)	斜纹	311	0.71	52.0
9	芳砜纶(PSA)	平纹	189	0.46	74.0
10	芳砜纶(PSA)	平纹	155	0.42	242.1
11	芳砜纶(PSA)	斜纹	257	0.60	140.2
12	芳纶 1313	斜纹	207	0.53	155.7
13	腈/棉	斜纹	203	0.56	230.4

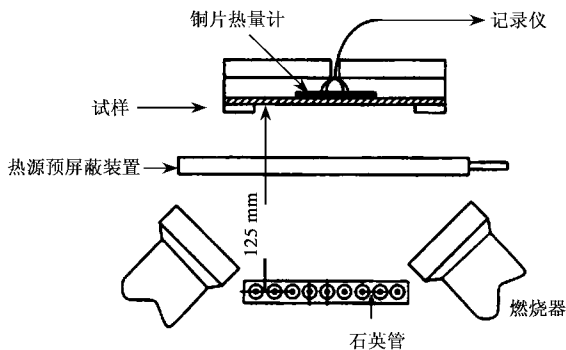


图 1 TPP 性能测试原理图

Fig.1 Schematic diagram of TPP tester

测试时试样水平放置在以对流和辐射混合热作用的火焰上方, 织物正面对热源, 试样距石英管 125 mm, 置于试样后的热量计的温度随热源作用的时间而变化, 温度记录仪每隔 0.1 s 自动记录热量计随时间上升的温度变化值并绘成曲线, 曲线与 Stoll 标准曲线的相交点即为造成人体皮肤二度烧伤所需要的时间, 与此条件下的总热量乘积即为 TPP 值^[4-5]。TPP 值越大, 则织物的热防护性能越好, 人体皮肤越不容易烧伤。

试样大小为 150 mm × 150 mm, 暴露面积为 100 mm²。每个试样测试 3 块, 取其平均值。实验时, 总热流量分别设定为 63 kW/m² (对流/辐射 50/50) 和 84 kW/m² (对流/辐射 70/30)。所有的试样在测试前都在标准环境下平衡 24 h。

1.2.2 试样物理特性的测试

试样的厚度采用 YG141D 数字式织物厚度仪按照 GB/T 3820—1997 进行测定; 透气性能采用

YG461E 型电脑式透气性测试仪按照 GB/T 5453—1997 进行测定。

2 结果与讨论

2.1 纤维种类对织物热防护性能的影响

表 2 示出总热流量等于 84 kW/m² (对流/辐射 70/30 混合热) 火焰暴露下的织物性能, 图 2 示出铜片热量计记录的温度上升曲线 (织物与铜片热量计间隔 6 mm)。

表 2 总热流量为 84 kW/m² 火焰暴露下织物的性能

Tab.2 Performance of fabrics on 84 kW/m² flame exposure

试样号	二度烧伤时间/s	TPP 值/($kW \cdot s \cdot m^{-2}$)
1	7.8	15.7
2	9.2	18.3
3	8.1	16.1
4	5.3	10.6
5	7.6	15.5
6	6.5	12.9
7	7.3	14.6
8	10.1	20.2
9	7.3	14.5
10	7.0	13.9
11	9.2	18.3
12	9.0	18.0
13	5.8	11.5

注: 织物与热量计间隔 6 mm。

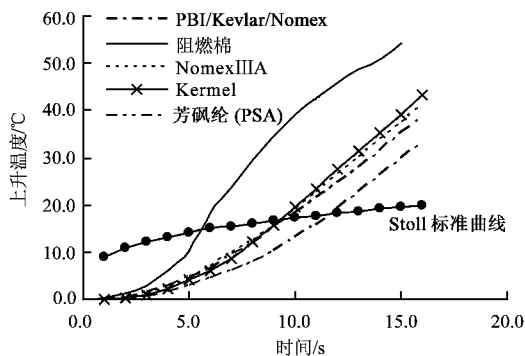


图 2 不同织物的热量计温度上升曲线

Fig.2 Calorimetric responses for various fabrics

从表 2 和图 2 可以看出: 阻燃棉织物的温度上升曲线最陡, 即温度上升最快, TPP 值最小, 造成皮肤二度烧伤的时间最短, 其热防护性能最差; 其次是腈/棉混纺织物; 而芳砜纶、Nomex、Kermel、PBI/Kevlar/Nomex 混纺织物的温度上升曲线较缓, TPP 值较大, 二度烧伤时间较长, 其热防护性能较好。这可能是棉纤维、聚丙烯腈纤维的极限氧指数 (LOI)

较小,所以试样 4、13 在火焰暴露下容易燃烧,从而导致模拟皮肤的温度上升快,相应地其热防护性能也差。而对于芳腈纶、Nomex、Kermel、PBI 等试样,其纤维的 LOI 值都比棉纤维、聚丙烯腈纤维大很多,故试样在火焰暴露下不易燃烧,模拟皮肤的温度上升缓慢。而且从表 2 可看到,对于厚度与面密度相似的试样 3 和 5,试样 3 的 TPP 值大于试样 5,这可能是因为试样 3 中含有 20% PBI 纤维,PBI 纤维的 LOI 值大于 Kermel 纤维(试样 5)。由此可见,纤维的种类是影响织物热防护性能的主要因素。

2.2 织物的物理特性对热防护性能的影响

织物的热防护性能除了与纤维的种类有关外,织物的物理特性对其性能也有一定的影响。表 3 示出组成成分都为芳腈纶(PSA)纤维的试样 8、9、10 和 11,在总热流量为 84 kW/m² 火焰暴露下的 TPP 值与织物的厚度、质量、透气性的相关系数。可以看到,对于纤维成分相同的织物,TPP 值与织物的厚度、质量有显著的正相关性。即随着织物厚度、质量的增加,织物的 TPP 值呈上升的趋势,织物的热防护性能也越好;反之也成立。如试样 8 的质量和厚度最大,其 TPP 值也最大;而试样 10 的厚度和质量最小,其 TPP 值也最小。

表 3 芳腈纶织物的 TPP 值与物理性能的相关系数

Tab.3 Correlation coefficient of TPP rating and physical properties for PSA fabrics

	TPP 值	质量	厚度	透气性
TPP 值	1.00			
质量	0.991	1.00		
厚度	0.995	0.997	1.00	
透气性	-0.577	-0.682	-0.632	1.00

从相关系数可知,织物的透气性与 TPP 值呈负相关性,但相关性不显著。即随着织物透气性的增加,热防护性能呈现下降的趋势。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。

2.3 暴露条件对热防护性能的影响

改变热流量的大小,使总热流量分别为 63 kW/m² (对流/辐射 50/50)和 84 kW/m² (对流/辐射 70/30),并且使织物与热量计直接接触,测试暴露条件对热防护性能的影响。表 4 示出不同热流量暴露下,试样与热量计直接接触时皮肤二度烧伤时间与 TPP 值。可以看出,热流量为 63 kW/m² 的二度烧伤时间比热流量为 84 kW/m² 的二度烧伤时间长,即热

流量越小,热防护时间越长。因为总热流量越小,传递到皮肤的热量越少,则皮肤温度上升得越慢,从而造成皮肤二度烧伤的时间越长。而且从实验结果可以看到,热流量为 63 kW/m² 织物的 TPP 值小于热流量为 84 kW/m² 织物的 TPP 值,这是由于总热流量中对流/辐射热的比例不同所致,总热流量为 63 kW/m² 的对流热所占的比例小于 84 kW/m² 中的对流热所占的比例。由此可见,辐射热源和对流热源对织物的热防护性能的影响程度也是不同的。

表 4 不同比例的对流/辐射热流量下皮肤二度烧伤时间与 TPP 值

Tab.4 Time of the 2nd degree burn injury and TPP rating on different convective/radiant heat flux

试样号	二度烧伤时间/s		TPP 值/(kW·s·m ⁻²)	
	63 kW/m ²	84 kW/m ²	63 kW/m ²	84 kW/m ²
1	5.5	5.1	8.4	10.2
2	7.3	6.3	11.0	12.6
3	5.8	5.2	8.6	10.4
4	5.0	4.5	7.0	9.1
5	5.6	5.0	8.3	10.0
6	5.2	4.8	7.6	9.7
8	8.6	7.9	12.7	15.7
12	6.3	6.1	9.4	12.3

注:织物与热量计直接接触。

对比表 2、4 可以看出,对于同一种试样,热流量同为 84 kW/m² 时,织物与热量计直接接触测得的 TPP 值与二度烧伤的时间都小于织物与热量计有间距时测得的结果。这是因为静止空气是很好的隔热介质,织物与热量计非直接接触时,织物与模拟皮肤铜片热量计间存在的静止空气层有效地阻隔了热量向模拟皮肤传递,从而延长了模拟皮肤到达二度烧伤的时间。

3 结 论

1) 对于耐热阻燃织物,纤维的种类、总热流量的大小是影响其热防护性能的主要因素。纤维的极限氧指数越大,则相应的织物越不易燃烧,热防护性能也越好。而且暴露的总热流量越大,造成模拟皮肤二度烧伤的时间越短;相反,总热流量越小,造成模拟皮肤二度烧伤的时间越长。

2) 织物的物理特性对热防护性能也有影响。对于纤维成分相同的织物,TPP 值与织物的厚度、质量具有显著的正相关性,即织物越厚重,其 TPP 值越大,热防护性能也越好。而织物的透气性

(下转第 66 页)

(上接第 58 页)

与 *TPP* 值具有一定的负相关性,即随着织物透气性的增加,其热防护性能下降。

3) 织物与模拟皮肤间的静止空气层对织物的热防护性能也有一定的影响,在其他条件相同的情况下,模拟皮肤与织物之间有静止空气时的二度烧伤时间与 *TPP* 值比紧密接触无静止空气时的大。

FZXB

参考文献:

[1] 张建春,赵艳志. 耐高温阻燃防护织物 NOMEX III A 及其性能测试研究[J]. 中国劳动防护用品 2007, 41(4):

33 - 36.

[2] 刘丽英. Kermel/Viscose FR 混纺阻燃织物的开发[J]. 上海纺织科技, 2004, 32(1): 49 - 50.

[3] 华涛,杨元. 热防护服热防护性能测试方法的探讨[J]. 产业用纺织品, 2003, 21(10): 34 - 37.

[4] Stoll A M, Chlanta M A. Method and rating system for evaluation of thermal protection[J]. Aerospace Medicine, 1969, 40(11): 1232 - 1237.

[5] Itzhak Shalev, Roger L, Barker. Protective fabrics: a comparison of laboratory methods for evaluating thermal protective performance in convective/radiant exposures[J]. Textile Research Journal, 1984, 64(10): 648 - 654.