

多层织物热防护性能分析

马 军, 李向红, 张军英

(河北科技大学, 河北 石家庄 050018)

摘 要: 选用消防员灭火防护服常用外层、舒适层、隔热层以及防水透气层组成3层和4层结构织物,测试其整体热防护能力(*TPP*)值,分析隔热层和防水透气层对多层结构织物整体热防护性能的贡献。在喷湿量5%、10%、15%、20%的条件下,探讨喷湿方向、喷湿量和润湿时间对织物*TPP*值的影响。结果表明:防水透气层对多层结构织物整体热防护性能的贡献比隔热层大;外层方向加湿,织物的*TPP*值增加,热防护性能增强,舒适层方向加湿,降低了织物的*TPP*值;随着润湿时间的增加,湿度对织物整体热防护性能的影响减弱;喷湿量对织物热防护性能的影响没有呈现出明显的变化规律。指出:选择合适的外层、防水透气层、舒适层组成3层结构织物,能够达到防护服整体热防护性能(*TPP*)值28的要求。

关键词: 多层织物; 隔热层; 防护服; 整体热防护能力; 防水透气层; 喷湿方向

中图分类号: TS101.923

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2018)07-0015-03

DOI:10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2018.07.005

Thermal protective performance of multi-layer fabrics

MA Jun, LI Xianghong, ZHANG Junying

(Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

Abstract: The common used shell fabrics, lining, waterproof permeable layer and heat isolation layer are selected to make three-layer and four-layer constructions. Thermal protective performance (*TPP*) value is tested to analyze the contribution of waterproof permeable layer and heat isolation layer to the overall protective performance of the multi-layer constructions. Under the condition of moisture content 5%, 10%, 15% and 20%, the effects of water-adding direction, amount and time on *TPP* value are explored. The results show that the thermal protective performance of waterproof layer is better than that of heat isolation layer. When water is added to the shell, the *TPP* value is higher. Adding water to lining may result in the decline of thermal protective performance. With the increasing period of moisture contained, *TPP* value is lower. There is no clear tendency to indicate how moisture content influences thermal protective performance. It is pointed out that suitable three-layer construction with shell fabric, waterproof layer and lining can meet the thermal protective performance requirement of *TPP* 28.

Key words: multilayer fabric; heat-insulated layer; protective clothing; thermal protective performance; waterproof permeable layer; water-adding direction

GA10—2014《消防员灭火防护服》标准中推荐,防护服由外层、防水透气层、隔热层、舒适层组成,整体热防护能力(*TPP*)值应不小于28,整套防护服的质量不应大于3.5 kg^[1]。目前,国内消防服主要为4层结构,虽然整套服装的质量不大于3.5 kg,但在救援时消防员还需配备靴子、面罩、头盔、空气呼吸器、安全腰带、救援绳等装备,总质量在5 kg以上,笨重的装备限制了消防员的行动灵活性,降低了救援能力。

在火灾现场,湿度对防护服热防护性能的影响很复杂,一方面消防战士用水枪灭火,水流可能打湿服装外层,另一方面高温环境和高强度的运动使消防员出汗较多,汗液从内层弄湿服装,在纤维吸湿的同时,高温又使得纤维水分蒸发放湿。有学者针对湿度对服装热防护性能的影响做了一些研究:如李红燕^[2]研究了

单层织物湿态热防护性能,认为水分有助于提高单层织物的热防护性能,*TPP*值随含水量的增加而增大;曹娟等人^[3]研究了含水率对消防服用织物热防护性能的影响,认为随着含水率的增加,人体二级烧伤时间呈上升趋势,模拟皮肤吸收的热量出现了不同的波动;何华玲等人^[4]探讨了含水率对消防服用多层织物系统热蓄积的影响,认为利用传统热防护性能试验和蓄积热试验测得的二级烧伤最少热暴露时间随含水率的增大明显降低,热蓄积指数也呈降低趋势,二级烧伤最少暴露时间与含水率之间存在显著的线性负相关关系。

单层织物的热防护效果与服装整体热防护能力密切相关,本文以3层和4层织物为研究对象,分析隔热层和防水透气层对整体热防护性能的贡献,探讨了设计开发3层结构防护服的可能性,以及湿度对防护服热防护性能的影响。

1 试验

1.1 试验材料

收稿日期: 2018-04-17

基金项目: 河北科技大学五大平台开放基金项目(2014PT01)

作者简介: 马军(1968-),男,副教授,主要从事纺织新产品开发及纺织新技术的研究。

选用6种消防服常用外层面料、3种舒适层面料、1种阻燃粘胶针刺毡、1种基布为芳纶的PTFE防水透气膜,组成3层和4层结构。外层、舒适层购于保定三源纺织科技有限公司和石家庄赛孚纺织有限公司,隔热层和PTFE膜购于烟台永德纺织品有限公司。单层织物的基本参数见表1,3层和4层织物结构见表2,采用19.7 tex×3 芳纶 1313 缝纫线缝合。

表1 单层织物基本参数

项目	编号	原料成分及名称	厚度/mm	面密度/(g·m ⁻²)	颜色
外层	①	93/5/2 芳纶 1313/芳纶 1414/导电纤维	0.48	200	军绿
	②	全棉阻燃抗静电布	0.59	268	桔红
	③	100%芳纶 1313	0.51	220	乳白
	④	50/50 芳纶 1313/棉	0.52	210	深蓝
	⑤	58/40/2 芳纶 1414/PBI/导电纤维	0.50	205	藏青
	⑥	65/35 阻燃粘胶/芳纶 1414	0.51	235	蓝灰
舒适层	a	65/35 阻燃粘胶/芳纶 1414	0.43	133	橘黄
	b	50/50 芳纶 1414/阻燃粘胶	0.42	129	浅灰
	c	全棉阻燃染色布	0.39	122	蓝色
隔热层	I	阻燃粘胶针刺毡	1.52	75	深灰
防水透气层	II	PTFE 防水透气膜	0.74	125	米黄

表2 3层和4层织物结构

3层结构			4层结构					
外层+隔热层+舒适层		外层+防水透气层+舒适层	外层+防水透气层+隔热层+舒适层					
组合方式	编号	厚度/mm	组合方式	编号	厚度/mm	厚度/mm		
①+ I + a	A1	1.60	①+ II + a	A2	1.01	①+ II + I + a	A3	2.30
①+ I + b	B1	1.61	①+ II + b	B2	0.90	①+ II + I + b	B3	2.40
①+ I + c	C1	1.71	①+ II + c	C2	1.10	①+ II + I + c	C3	2.60
②+ I + a	D1	2.01	②+ II + a	D2	1.21	②+ II + I + a	D3	2.70
②+ I + b	E1	2.00	②+ II + b	E2	1.10	②+ II + I + b	E3	2.61
②+ I + c	F1	2.00	②+ II + c	F2	1.20	②+ II + I + c	F3	3.01
③+ I + a	G1	1.80	③+ II + a	G2	1.30	③+ II + I + a	G3	2.50
③+ I + b	H1	2.11	③+ II + b	H2	1.11	③+ II + I + b	H3	2.80
③+ I + c	I1	2.11	③+ II + c	I2	1.20	③+ II + I + c	I3	2.90
④+ I + a	J1	2.11	④+ II + a	J2	1.11	④+ II + I + a	J3	2.51
④+ I + b	K1	1.81	④+ II + b	K2	1.00	④+ II + I + b	K3	2.40
④+ I + c	L1	2.10	④+ II + c	L2	1.10	④+ II + I + c	L3	2.80
⑤+ I + a	M1	1.91	⑤+ II + a	M2	1.11	⑤+ II + I + a	M3	2.71
⑤+ I + b	N1	1.91	⑤+ II + b	N2	1.01	⑤+ II + I + b	N3	2.80
⑤+ I + c	O1	2.10	⑤+ II + c	O2	1.11	⑤+ II + I + c	O3	2.80
⑥+ I + a	P1	2.00	⑥+ II + a	P2	1.11	⑥+ II + I + a	P3	2.80
⑥+ I + b	Q1	1.80	⑥+ II + b	Q2	1.00	⑥+ II + I + b	Q3	2.90
⑥+ I + c	R1	1.80	⑥+ II + c	R2	1.01	⑥+ II + I + c	R3	2.81

1.2 测试方法

试验在陕西元丰纺织技术研究有限公司生产的RFH-II型热防护性能测试仪上进行。单层织物在常温常湿状态下放置24h,样品尺寸150mm×150mm。测试过程中,将试样水平置于特定热源上,热源以热对流和热辐射两种形式传递热量,通过量热计量造成人体皮肤二度烧伤所需的时间,计算热防护能力TPP值,计算式见式(1)。在本试验中,暴露热通量设定为2.0 cal/cm²·s。

$$TPP = F \cdot T \quad (1)$$

式中:F——暴露热通量,cal/cm²·s;

T——导致烧伤的时间,s

2 测试结果与分析

2.1 多层结构织物热防护性能

3层和4层织物热防护能力测试结果见图1。

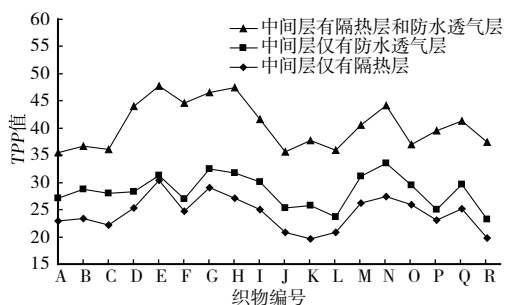


图1 不同外层舒适层的3层和4层织物热防护能力对比

从图1可以看出,当外层、舒适层相同时,中间层仅有隔热层的3层织物热防护能力较弱,TPP值基本在28以下。中间仅有防水透气层的3层织物的热防护能力比中间仅有隔热层的3层织物高,说明防水透气层比隔热层的热防护能力强,防护效果好。本文采用的防水透气层是基布为芳纶的PTFE膜,虽然厚度小,但结构密实,再加上芳纶基材的阻燃、耐高温特性,因而显现出较为突出的热防护性能。与3层织物相比,夹有隔热层和防水透气层的4层织物热防护能力有了显著提升,所有样品的TPP值均能达到GA10—2014标准中要求的28,最高者可达到47。相对而言,外层采用100%芳纶1313织物和大面密度纯棉织物的D3~I3组4层织物的TPP值均超过了40。

当中间层仅有防水透气层时,外层采用芳纶1313/芳纶1414/PBI导电纤维58/40/2混纺织物的G2~I2、M2~O2 3组层织物的热防护能力可满足GA10—2014标准中TPP值超过28的要求。如果仅

从整体热防护能力的角度分析,3层结构已能满足防护服的热防护要求,隔热层可以取消。以加工一套防护服需要 4 m^2 面料计,本文采用的阻燃粘胶针刺毡面密度为 75 g/m^2 ,则取消阻燃层能够为整套服装减重 300 g 。如果夹有常规防水透气层的3层结构不能满足热防护要求,通过改变防水透气层的结构,也能实现GA10—2014标准中要求的热防护效果。如刘亚光^[5]对3层结构的消防员灭火防护服的探讨,认为通过合理选择外层、舒适层、防水透气层的结构,3层结构防护服的 TPP 值能够稳定达到28。

2.2 湿度对4层结构织物热防护性能的影响

以编号为A3的4层结构织物(TPP 值35.46)为研究对象,在常温常湿条件(室温 25°C ,相对湿度50%)下,分别从外层和舒适层两个方向喷湿,喷湿量为4层织物质量的5%、10%、15%、20%,喷湿后织物在常温下水平放置30、60、90、120 min后,测试4层织物的 TPP 值,测试结果见表3。可见,从外层方向加湿有助于织物热防护性能的提高,尤其是润湿时间在30~90 min时,这与纤维和水的比热容差异有关。干燥芳纶的比热容为 $1.21\text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$,水的比热容为 $4.18\text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$,水的比热容大约是干燥芳纶的2~3倍^[6],受到热源作用时,纤维与水吸收热量,织物温度升高。水的比热容较高,吸收了较多的热量,一定程度上减少了纤维对热量的吸收。在 TPP 值测试过程中,外层受到热源的直接作用,水分蒸发消耗了部分热量,使外层传递到舒适层的热量减少,量热计从舒适层计量出的二级烧伤时间延长, TPP 值提高。随着润湿时间的增加,水分不断蒸发,其对织物热防护性能的影响减弱。

舒适层方向加湿,织物 TPP 值并未提高,甚至有所降低。这或许与纤维吸湿后的能量转换有关。在整体热防护性能测试过程中,量热计直接与舒适层接触,舒适层的温度变化影响量热计的测试结果。舒适层纤维在吸湿后释放热量,运动中的水分子被纤维大分子吸附时,水分子将动能转化成热能,放热使得舒适层表面温度升高,导致量热计测量的人体皮肤二级烧伤时间缩短, TPP 值降低。另外,在隔热层和防水透气层的阻隔下,水分子不易向外层传递,因而水分蒸发产生的吸热量减少,对织物整体热防护性能的影响变小。

在本试验条件下,不管是外层加湿,还是舒适层加湿,A3织物的整体热防护性 TPP 值都大于GA10—

2014标准要求的28。此外,湿度大小对 TPP 值的影响并未呈现明显的变化规律。

表3 不同加湿方向和润湿时间下织物的 TPP 值

加湿方向	喷湿量/%	时间/min	TPP 值
外层方向加湿	5	30	39.17
		60	37.35
		90	34.38
		120	34.54
	10	30	37.35
		60	42.64
		90	35.53
		120	32.40
	15	30	36.20
		60	40.82
		90	38.18
		120	32.56
20	30	35.70	
	60	41.48	
	90	34.71	
	120	34.87	
舒适层方向加湿	5	30	30.08
		60	32.73
		90	35.53
		120	39.50
	10	30	32.40
		60	32.40
		90	36.03
		120	35.04
	15	30	33.39
		60	35.70
		90	32.40
		120	35.04
20	30	42.47	
	60	41.48	
	90	33.55	
	120	36.36	

3 结语

单层织物的热防护性能与多层织物的整体热防护能力有关。中间仅有防水透气层的3层织物比中间仅有隔热层的3层织物的热防护能力强,通过合理选用外层、舒适层以及防水透气层,3层结构织物能够达到GA10—2014标准中对防护服整体热防护能力的要求。湿度对服装热防护性能的影响是复杂的,外层加湿有助于提高服装整体热防护性,但舒适层加湿降低了 TPP 值;湿度并非越大越有利,随着润湿时间的增加,

☞(下转第27页)



(a) 小样实图 (b) 大样实图

图3 秋香黄染色蚕丝欧根纱织物小样与大样实物图

2.3 小样和大样织物的色牢度比较

采用1.2三步染色法对蚕丝欧根纱织物进行染色,改进后的工艺符合工业化生产的要求,染色织物的各项色牢度指标见表2。

表2 染色织物的色牢度值 级

染色方法		小样染色	工业染色	
耐皂洗色牢度	原样褪色	3~4	3~4	
	白沾	蚕丝	4	
		棉	4~5	4~5
耐摩擦色牢度	干摩	4~5	4~5	
	湿摩	2~3	2~3	
耐光色牢度/级		3~4	3~4	
耐皂洗色牢度	原样褪色	3~4	3~4	
	白沾	蚕丝	3~4	3~4
		棉	3~4	3~4

由表2可以看出,石榴皮植物染料秋香黄对蚕丝欧根纱的耐皂洗色牢度可以达到3~4级,蚕丝白沾色牢度可以达到4级,棉布白沾色牢度可以达到4~5级,耐干摩擦色牢度可以达到4~5级,耐汗渍色牢度可以达到3~4级,蚕丝和棉布汗渍白沾色牢度可以达到3~4级。从试验结果可知,工艺改进后,织物各项色牢度指标均符合工业生产的要求,首次实现了石榴皮染料的工业化生产,打破了植物染料的研究局限于小型实验室的局面。

3 结语

(1) 蚕丝欧根纱织物三步法染色工艺包括3个过

程。改性过程工艺为:浴比1:40,改性剂质量分数10%(omf),pH 7,升温至85℃,保温30 min,清水洗涤2次。染色过程工艺为:浴比1:40,秋香黄染料质量分数为4%(omf),纯碱质量浓度0.5 g/L,pH 7~8,升温至85℃,保温30 min,清水洗涤。皂洗过程工艺为:浴比1:40,中性皂洗剂质量浓度1 g/L,保温60℃,皂洗10 min,水洗。

(2) 秋香黄植物染料大小样变化小,重现性好,在对小样的研究中,需要考虑工业化生产中的不利因素及可操作性。

(3) 工业染色成衣机大生产时,由于蚕丝欧根纱在染浴中比较软,易黏结在一起造成打结而染花,所以浴比要适当放大。

(4) 蚕丝欧根纱在染浴中较软,但烘干后较硬,易造成擦伤,所以染色脱水后烘干要特别注意避免擦伤。



参考文献:

- [1] 陈东梅,纪俊玲.苏木媒染红色系真丝织物[J].印染,2017(13):16-21.
- [2] 董绍伟,周秋宝.天然石榴皮染料的提取及在真丝织物上的应用[J].印染,2004,30(18):4-6.
- [3] 洪浩月,纪俊玲,王东方.真丝织物的石榴皮植物染料预媒染染色[J].印染,2015(19):15-20.
- [4] 杨可盈.芬顿试剂法羊毛织物天然染料染色性能提升研究[D].大连:大连工业大学,2012.
- [5] 贾维妮,张瑞萍,乙永飞,等.石榴皮染料的提取及其在真丝绸染色中的应用[J].针织工业,2009(9):48-51.
- [6] 张晓莉,黄伟韩,张蕊.石榴皮色素的提取及对蚕丝织物的染色探讨[J].中原工学院学报,2011(6):63-65.
- [7] 杨可盈,崔永珠,刘焱奇,等.石榴皮对芬顿试剂法羊毛织物的染色性能[J].毛纺科技,2012,40(6):1-4.
- [8] 陈欣子,侯秀良,郭盟盟,等.石榴皮染料对毛织物的染色性能研究[J].天然产物研究与开发,2011,24(11):1528-1533.
- [9] 陈欣子.黄棕色系植物染料染色及抗紫外性能研究[D].无锡:江南大学,2012.
- [10] 张芳芳.天然植物染料在内衣中的应用研究[D].天津:天津工业大学,2017.

(上接第17页)

水分对服装整体热防护性的影响减弱。



参考文献:

- [1] 全国消防标准化技术委员会消防防护装备分技术委员会.消防员灭火防护服:GA10—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [2] 李红燕.单层织物湿态热防护性能测试与分析[J].纺织学报,2009,30(12):95-98.

- [3] 曹娟,宋国文,张慧,等.含水率对消防服用织物热防护性能的影响[J].天津工业大学学报,2016,35(1):33-37.
- [4] 何华玲,于志财,张健飞,等.含水率对消防服用多层织物系统热蓄积的影响[J].纺织学报,2017,38(8):108-113.
- [5] 刘亚光.3层结构的消防员灭火防护服探讨[J].产业用纺织品,2016(12):24-26.
- [6] 于伟东.纺织材料学[M].北京:中国纺织出版社,2006.