

消防服用组合织物热防护性与热湿舒适性综合评价

周琦

(九江学院 艺术学院,江西 九江 332005)

摘要:为保证消防服具备优良的热防护性能和较好的热湿舒适性能,选用市场上常用的5种消防服外层织物、2种防水透气层织物、4种隔热层织物和3种舒适层织物为研究对象。用正交实验设计得到25种4层织物组合,测试了组合织物整体热防护性能与热湿舒适性能相关指标;并在此基础上综合评价了25种消防服用组合织物的综合性能,找出综合性能最佳的消防服用组合织物。结果表明:17[#]组合织物的热防护性能最好,9[#]组合织物透湿性能最佳,6[#]组合织物的透气性能最好;通过综合评价得出9[#]组合织物综合性能最佳。

关键词:消防服;热防护性;热湿舒适性;阻燃性能;综合评价

中图分类号:TS 101.92.3;TS 941.733.4 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2021)02-0102-06

Comprehensive Evaluation on Thermal Protection Performance and Thermal-Wet Comfort Performance of Composite Fabrics Used for Firefighters' Protective Clothing

ZHOU Qi

(Art Institute, Jiujiang University, Jiujiang 332005, China)

Abstract:In order to ensure both the thermal protection performance and thermal-wet comfort performance of firefighters' protective clothing, 5 kinds of firefighters' protective clothing outer fabrics, 2 kinds of waterproof and breathable layer fabrics, 4 kinds of heat insulation layer fabrics and 3 kinds of comfort layer fabrics used in the market were selected for the research. 25 kinds of 4-layer fabric combinations were designed by orthogonal test. The thermal protection performance and thermal-wet comfort performance of composite fabrics were tested. And on this basis, the comprehensive properties of 25 kinds of composite fabrics used for firefighters' protective clothing were comprehensively evaluated, and the best composite fabric was found. The results show that: 17[#] composite fabric shows the best thermal protection performance, 9[#] composite fabric has the best moisture permeability, 6[#] composite fabric has the best air permeability, and 9[#] composite fabric has the best comprehensive performance through comprehensive evaluation.

Key words: firefighters' protective clothing, thermal protection performance, thermal-wet comfort performance, flame retardant performance, comprehensive evaluation

火灾会造成不同程度的财物损失和人员伤亡。消防员在救援环境中可能会面临火焰、爆炸、高温蒸汽等威胁^[1],严重时甚至会危及生命。消防服是保障消防作业人员生命安全的重要装备,应具有良好的阻燃、隔热等相关性能^[2]。依据GA 10—2014《消防员灭火防护服》^[3]标准,国内消防服应有4层

结构,从外到内依次为外层、防水透气层、隔热层和舒适层^[4]。目前市面上消防服外层织物所用的纤维主要有Nomex纤维、Kevlar纤维、PBI纤维、Kermel纤维和PBO纤维等,均具有不燃或阻燃、耐高温、防穿刺等性能^[5];防水透气层一般为覆着在织物上的一层防水透气膜,可以排出衣内的水蒸

气,阻挡液态水,防风,具有隔热且减少热量渗入的作用;隔热层有隔离高温高热的效果^[6-7];舒适层具备舒适性与热防护性能。

有学者以单层消防服用织物为研究对象,进行织物参数对热防护性能和综合性能影响的研究:BARKER R L 等^[8]和 SONG G W 等^[9]指出,单层织物成分对防护性能起重要作用;翟胜男等^[10]分析了热防护性能及舒适性能的影响因素,得出评价织物热防护性能与舒适性能的综合评判方法。但当前对消防服用组合织物进行整体性能研究的深度较浅。文中基于 GA 10—2014 对消防服单层织物阻燃性能及 4 层组合织物整体热防护性能等进行测评,得到综合评价最佳的组合织物,为消防服 4 层组合织物综合性能的研究提供参考。由于消防服自身结构及使用过程中存在空气层等原因,导致研究过程中组合织物各方面性能与真实环境中消防服 4 层织物性能存在差异。

表 1 织物基本性能
Tab. 1 Fabric basic properties

试样编号	试样颜色	成 分	组织结构	密度/(根/dm)		厚度/mm	面密度/ (g/m ²)
				经密	纬密		
A ₁	橙黄	93% 芳纶 1313 + 5% 芳纶 1414 + 2% 导电纤维	平纹	163	153	0.54	152
A ₂	橙红	58% 芳纶 1414 + 40% PBI + 2% 导电纤维	平纹	210	198	0.51	200
A ₃	湖蓝	芳纶 1313	平纹	255	240	0.47	198
A ₄	藏青	50% 芳纶 1313 + 50% 棉	斜纹	197	177	0.53	216
A ₅	军绿	65% 阻燃黏胶 + 35% 芳纶 1414	斜纹	183	165	0.48	222
B ₁	米白	PTFE 防水透气膜	针刺非织造布			0.76	131
B ₂	米黄	薄水刺芳纶毡 + PTFE 膜	非织造布覆膜			0.57	185
C ₁	乳白	70% Nomex + 30% Kevlar	水刺非织造布			1.82	148
C ₂	深灰	阻燃黏胶针刺毡	针刺非织造布			1.54	80
C ₃	浅灰	80% Nomex + 20% Kevlar	气凝胶毡			2.08	131
C ₄	中灰	C3 内填充 SiO ₂ 气凝胶	水刺非织造布			2.08	140
D ₁	橘黄	80% 棉 + 20% 芳纶 1414	平纹	270	230	0.64	173
D ₂	浅灰	50% 芳纶 1414 + 50% 阻燃黏胶	平纹	138	136	0.42	130
D ₃	蓝色	全棉阻燃染色布	平纹	223	167	0.40	127

1.1.2 仪器 JY2003 电子天平,宁波纺织仪器厂制造;YG 141 型织物厚度仪,宁波纺织仪器厂制造;YG 815 型垂直法织物阻燃性能测试仪,山东安邱纺织仪器厂制造;TPP 热防护性能测试仪,美国精密有限公司制造;YG461E-Ⅱ型自动织物透气量仪,宁波纺织仪器厂制造;YG601-Ⅱ型电脑式织物透湿量仪,南京威美特科学仪器有限公司制造。

1.2 实验方法

1.2.1 织物阻燃性能测试 参照 GB/T 5455—2014《纺织品 燃烧性能垂直方向损毁长度、阴燃和

1 实验部分

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料 选用目前市场上消防服常用的单层织物,包括:5 种消防服外层织物,为阻燃耐高温纤维与其他纤维的混纺织物或纯纺阻燃耐高温织物,编号为 A₁ ~ A₅,浙江嘉云新材料股份有限公司生产;2 种消防服防水透气层织物,分别为防水透气膜和增加阻燃耐高温纤维毡的防水透气膜,编号为 B₁,B₂,新乡新德防护面料有限公司生产;4 种消防服隔热层织物,为阻燃耐高温纤维非织造布,编号为 C₁ ~ C₄,浙江嘉云新材料股份有限公司生产;3 种消防服舒适层织物,为吸湿透气性能较好的纤维,编号为 D₁ ~ D₃,新乡新德防护面料有限公司生产。实验用 14 块消防服织物试样的基本物理性能见表 1。

续燃时间的测定》^[11],将 12 块织物试样裁剪成 300 mm × 80 mm 的条形样布^[12],按要求洗涤 25 次后^[3],采用织物阻燃性能测试仪对消防服外层、隔热层、舒适层燃烧性能进行垂直燃烧实验测定。取 5 次测量平均值,探究织物的阻燃性能。

1.2.2 织物热防护性能测试 按照 4 因素 5 水平进行正交组合实验设计,得到 25 种实验样本,具体见表 2。被测消防服用组合织物试样尺寸为 150 mm × 150 mm,测试前在温度为(20 ± 2) ℃、相对湿度为 65% ± 2% 环境下将样品放置 24 h。将总

热通量定为 $(83 \pm 4) \text{ kW/m}^2$,由铜片热流计记录仪器上的反应曲线和 stoll 燃烧曲线交点得到导致烧伤所用的时间。将 4 层组合织物按图 1 所示放置,铜片热流计应放在穿着时靠近皮肤的一面。3 次测量取平均值,并计算 P_{TPP} ,公式为

$$P_{\text{TPP}} = F \times T。$$

式中: P_{TPP} 为热防护能力,单位为 $\text{kW} \cdot \text{s/m}^2$; F 为暴露热通量,单位为 kW/m^2 ; T 为导致烧伤所用的时间,单位为 s。

表 2 正交实验设计结果

Tab.2 Design results of orthogonal test

序 号	外 层	防水透气层	隔热层	舒适层
1 [#]	A ₃	B ₁	C ₁	D ₁
2 [#]	A ₃	B ₁	C ₁	D ₃
3 [#]	A ₅	B ₂	C ₃	D ₁
4 [#]	A ₂	B ₁	C ₄	D ₃
5 [#]	A ₃	B ₁	C ₃	D ₁
6 [#]	A ₂	B ₁	C ₃	D ₂
7 [#]	A ₃	B ₂	C ₂	D ₂
8 [#]	A ₄	B ₂	C ₄	D ₁
9 [#]	A ₂	B ₂	C ₁	D ₁
10 [#]	A ₅	B ₁	C ₁	D ₁
11 [#]	A ₂	B ₁	C ₁	D ₂
12 [#]	A ₁	B ₂	C ₃	D ₃
13 [#]	A ₁	B ₁	C ₄	D ₁
14 [#]	A ₂	B ₂	C ₂	D ₁
15 [#]	A ₅	B ₁	C ₄	D ₂
16 [#]	A ₁	B ₁	C ₂	D ₂
17 [#]	A ₁	B ₂	C ₁	D ₂
18 [#]	A ₅	B ₂	C ₁	D ₂
19 [#]	A ₅	B ₁	C ₂	D ₃
20 [#]	A ₃	B ₂	C ₄	D ₂
21 [#]	A ₄	B ₂	C ₁	D ₃
22 [#]	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
23 [#]	A ₄	B ₁	C ₂	D ₁
24 [#]	A ₄	B ₁	C ₁	D ₂
25 [#]	A ₄	B ₁	C ₃	D ₂

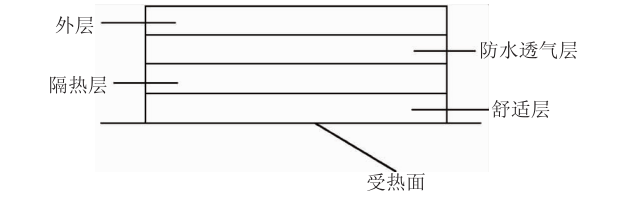


图 1 组合织物放置示意

Fig.1 Schematic diagram of composite fabric placement

1. 2. 3 织物透气性能测试 依据 GB/T 5453—

1997《纺织品 织物透气性的测定》^[13],实验前先使用织物透气量仪对实验材料的透气性以及孔板压差进行测试。在实验过程中,孔板的大小可以反映织物的透气性,选取距离织物边缘大于 15 cm 的布面作为试样,每块试样面积为 20 cm^2 ,在实验前将试样进行预调湿,设置温度为 $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度为 $65\% \pm 2\%$ 。调整实验测试压差为 100 Pa ,使用织物透气量仪测定多层组合织物整体透气率;同一试样不同部位重复测量不少于 10 次,取平均值。

1. 2. 4 织物透湿性能测试 依据 GB/T 12704. 1—2009《纺织品 织物透湿性试验方法 第 1 部分:吸湿法》^[14],设置测试条件为:温度 $(38 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $90\% \pm 2\%$,用织物透湿量仪测定 4 层组合织物的整体透湿性能,测量时取 3 个不同部位。透湿量计算公式为

$$V_{\text{WVT}} = 24\Delta m / (St)。$$

式中: V_{WVT} 为织物的透湿量,单位为 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; S 为织物测试面积,单位为 m^2 ; t 为测试时间,单位为 h; Δm 为称量前后质量之差,单位为 g。

2 结果与讨论

2. 1 织物阻燃性能

采用垂直燃烧法测试 12 种消防服用织物的阻燃性能,结果见表 3。

表 3 垂直燃烧法测试结果

Tab.3 Test results of vertical combustion method

试样编号	持 续 时间/s	损 毁 长度/mm	燃烧特征
A ₁	1. 1	82. 8	无熔融、滴落现象
A ₂	0. 7	66. 3	无熔融、滴落现象
A ₃	0. 0	41. 1	无熔融、滴落现象
A ₄	0. 4	63. 7	无熔融、滴落现象
A ₅	0. 4	60. 6	无熔融、滴落现象
C ₁	0. 0	39. 3	无熔融、滴落现象
C ₂	0. 6	64. 9	无熔融、滴落现象
C ₃	0. 3	50. 5	无熔融、滴落现象
C ₄	0. 0	38. 2	无熔融、滴落现象
D ₁	1. 2	91. 2	无熔融、滴落现象
D ₂	0. 2	45. 7	无熔融、滴落现象
D ₃	0. 8	64. 8	无熔融、滴落现象

由表 3 可知,12 种织物经过 25 次洗涤后,损毁长度均小于 100 mm,续燃时间小于 2 s,且无熔融、滴落现象。织物的损毁长度越小,织物的阻燃性能越好。综上,这 5 种外层织物、4 种隔热层织物和 3

种舒适层织物均符合 GA 10—2014 对消防服外层、隔热层、舒适层织物的阻燃性能要求。结合表 1 发现,织物的厚度和面密度对其阻燃性能有显著影响,织物厚度和面密度越大,织物的阻燃性能越好。

2.2 织物热防护性能

织物热防护性能测试结果见表 4。

表 4 织物热防护性能测试结果

Tab. 4 Test results of thermal protection performance of fabrics

序 号	二级烧伤时间/s	$P_{\text{TPP}}/(\text{kW} \cdot \text{s}/\text{m}^2)$
1 [#]	14.402	1 195.122
2 [#]	14.295	1 186.246
3 [#]	14.502	1 203.412
4 [#]	14.584	1 210.195
5 [#]	14.531	1 205.798
6 [#]	15.079	1 251.309
7 [#]	14.757	1 224.555
8 [#]	14.281	1 185.074
9 [#]	15.412	1 278.942
10 [#]	14.113	1 171.132
11 [#]	15.293	1 269.061
12 [#]	15.109	1 253.779
13 [#]	14.537	1 206.301
14 [#]	15.023	1 246.662
15 [#]	13.687	1 135.795
16 [#]	14.706	1 220.327
17 [#]	15.642	1 297.992
18 [#]	14.612	1 212.539
19 [#]	13.356	1 108.330
20 [#]	14.768	1 225.476
21 [#]	14.023	1 163.679
22 [#]	14.985	1 243.480
23 [#]	13.432	1 114.610
24 [#]	13.805	1 145.592
25 [#]	13.591	1 127.798

二级烧伤时间越长, P_{TPP} 就越大,织物的热防护性能越好。由表 4 计算可知,25 种组合织物中,10[#],15[#],19[#],21[#],23[#],24[#],25[#]组合织物的 P_{TPP} 小于 1 172,不符合 GA 10—2014 对消防服整体热防护性能的要求,其余组合织物的 P_{TPP} 均大于 1 172,符合要求。其中,17[#]组合织物的 P_{TPP} 最大,该组合织物整体热防护性能最佳。结合表 3 发现,织物的热防护性能与其阻燃性能密切相关,织物的阻燃性能越

好,热防护性能就越好。

2.3 织物热湿舒适性能

织物透气性能和透湿性能测试结果见表 5。

表 5 织物热湿舒适性能测试结果

Tab. 5 Test results of thermal-wet comfort performance of fabrics

序 号	透气量/($\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	透湿量/($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)
1 [#]	197.421	5 148.42
2 [#]	151.532	5 025.83
3 [#]	67.213	4 845.53
4 [#]	125.432	4 835.34
5 [#]	198.562	5 017.22
6 [#]	198.856	4 984.62
7 [#]	77.423	4 725.64
8 [#]	57.328	4 385.45
9 [#]	194.438	5 232.96
10 [#]	70.122	4 970.32
11 [#]	198.125	5 065.73
12 [#]	147.538	5 187.47
13 [#]	127.211	4 266.33
14 [#]	81.147	4 571.24
15 [#]	70.394	4 367.74
16 [#]	81.474	4 647.92
17 [#]	189.638	4 973.74
18 [#]	65.357	5 070.35
19 [#]	62.385	4 670.31
20 [#]	121.438	4 150.27
21 [#]	57.539	5 070.47
22 [#]	198.215	4 955.35
23 [#]	55.426	4 472.16
24 [#]	60.752	4 608.61
25 [#]	54.793	4 650.45

由表 5 可知,1[#],5[#],6[#],9[#],11[#],22[#]组合织物的透气性相对较好;1[#],2[#],5[#],9[#],11[#],12[#],18[#],21[#]组合织物的透湿性相对较好。这可能与组合织物各层织物纤维原料的透气性、透湿性、厚度、面密度、经纬密度等相关,织物越厚,面密度越大,经纬密度越大,其相应的透气性和透湿性能越差。

2.4 织物综合性能

运用分层评价模式,将 P_{TPP} 、透湿量、透气量进行归一化处理,具体结果见表 6。用计算出的质量评价综合指数对消防服组合织物综合性能进行评

价,该值越大,织物综合性能越好^[15]。据此选出综合性能最优的织物。

表 6 测试数据归一化结果

Tab.6 Test data normalization results				
序 号	热防护性能	透湿性能	透气性能	综合性能
1 [#]	0.040	0.043	0.068	0.046
2 [#]	0.039	0.042	0.052	0.043
3 [#]	0.040	0.040	0.023	0.038
4 [#]	0.040	0.040	0.043	0.041
5 [#]	0.040	0.042	0.068	0.045
6 [#]	0.042	0.042	0.068	0.046
7 [#]	0.041	0.039	0.027	0.038
8 [#]	0.039	0.037	0.020	0.035
9 [#]	0.043	0.044	0.067	0.047
10 [#]	0.039	0.041	0.024	0.038
11 [#]	0.042	0.042	0.068	0.046
12 [#]	0.042	0.043	0.051	0.044
13 [#]	0.040	0.036	0.044	0.038
14 [#]	0.041	0.038	0.028	0.038
15 [#]	0.038	0.036	0.024	0.035
16 [#]	0.041	0.039	0.028	0.038
17 [#]	0.043	0.041	0.065	0.046
18 [#]	0.040	0.042	0.022	0.039
19 [#]	0.037	0.039	0.021	0.036
20 [#]	0.041	0.035	0.042	0.038
21 [#]	0.039	0.042	0.020	0.038
22 [#]	0.041	0.041	0.068	0.045
23 [#]	0.037	0.037	0.019	0.034
24 [#]	0.038	0.038	0.021	0.036
25 [#]	0.037	0.039	0.019	0.035

质量评价综合指数 $f(x)$ 由 3 个分指数加权计算得到:

$$f(x)=\mu_1f_1(x)+\mu_2f_2(x)+\mu_3f_3(x)。$$

式中: μ_1,μ_2,μ_3 由专业人员根据经验设定,其中 $\mu_1=0.30,\mu_2=0.55,\mu_2=0.15$ ^[16]; $f(x)$ 为综合性能指数; $f_1(x)$ 为热防护性指数; $f_2(x)$ 为透湿性指数; $f_3(x)$ 为透气性指数。

由表 6 可知,9[#]组合织物的综合性能最佳,1[#],5[#],6[#],11[#],17[#],22[#]组合织物的综合性能稍微次之;23[#]组合织物的综合性能最差。

综合上述分析得出,为同时保证消防服的阻燃性能、热防护性能和热湿舒适性能,要对织物厚度、面密度、经纬密度等进行合理选择。

3 结 语

1) 通过对消防服外层、隔热层及舒适层阻燃性能的测试发现,实验所用 5 种外层织物、4 种隔热层织物和 3 种舒适层织物均符合 GA 10—2014 对消防服外层、隔热层、舒适层织物的阻燃性能要求。

2) 通过对 25 种 4 层组合织物整体热防护性能测试得出,除了 10[#],15[#],19[#],21[#],23[#],24[#],25[#]组合织物的 P_{TPP} 小于 1 172,不符合 GA 10—2014 对消防服整体热防护性能的要求,其他种组合织物均符合要求。

3) 通过对 25 种 4 层组合织物的透气性及透湿性研究发现,1[#],5[#],6[#],9[#],11[#],22[#]组合织物的透气性相对较好;1[#],2[#],5[#],9[#],11[#],12[#],18[#],21[#]组合织物的透湿性相对较好。

4) 分析 25 种 4 层组合织物的质量评价综合指数发现:9[#]组合织物综合性能最好;23[#]组合织物综合性能最差。

此外,研究过程中发现中国现行消防服标准对消防服用织物的透气性能、消防服整体透湿性能及阻燃性能等未进行规定,消防服的相关标准需要进一步统一和完善;且需加深对消防服性能测试环境模拟的研究,使测试环境尽量与实际使用环境相同。

参考文献:

[1] LU Y H, LI J, LI X H, et al. The effect of air gaps in moist protective clothing on protection from heat and flame [J]. Journal of Fire Sciences, 2013, 31(2): 99-111.

[2] 陈若颖, 苏云, 王云仪. 相变材料在消防服中的应用研究进展[J]. 产业用纺织品, 2020, 38(4): 1-6. CHEN Ruoying, SU Yun, WANG Yunyi. Research progress on the application of phase change materials in fire-fighting protective clothing [J]. Technical Textiles, 2020, 38(4): 1-6. (in Chinese)

[3] 中华人民共和国公安部. 消防员灭火防护服: GA 10—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

[4] 张培, 闫峻, 康茹. 阻燃防护服防火性能及发展趋势 [J]. 安全、健康和环境, 2008, 8(8): 21-23. ZHANG Pei, YAN Jun, KANG Ru. Developing trend of the fire retardancy of flame retardant protective clothing [J]. Safety Health and Environment, 2008, 8(8): 21-23. (in Chinese)

[5] 沈德垚, 侯东昱. 聚酰亚胺与其他常用消防服阻燃材料的性能对比[J]. 毛纺科技, 2020, 48(4): 12-16. SHEN Deyao, HOU Dongyu. Comparative analysis of the performance of flame retardant materials between

- polyimide and other fibers for firefighting clothing[J]. Wool Textile Journal, 2020, 48(4): 12-16. (in Chinese)
- [6] 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.
- LI Hongyan. Testing and analysis on wet thermal protective performance of single layer fabrics[J]. Journal of Textile Research, 2009, 30(12): 95-98. (in Chinese)
- [7] HUANG D M, YANG H, QI Z K, et al. Questionnaire on firefighters' protective clothing in China[J]. Fire Technology, 2012, 48(2): 255-268.
- [8] BARKER R L, LEE Y M. Analyzing the transient thermophysical properties of heat-resistant fabrics in TPP exposures[J]. Textile Research Journal, 1987, 57(6): 331-338.
- [9] SONG G W. Clothing air gap layers and thermal protective performance in single layer garment[J]. Journal of Industrial Textiles, 2007, 36(3): 193-205.
- [10] 翟胜男, 陈太球, 蒋春燕, 等. 消防服外层织物热防护性与舒适性综合评价[J]. 纺织学报, 2018, 39(8): 100-104.
- ZHAI Shengnan, CHEN Taiqiu, JIANG Chunyan, et al. Comprehensive evaluation on thermal protection and comfort of outer fabrics of firefighter protective clothing[J]. Journal of Textile Research, 2018, 39(8): 100-104. (in Chinese)
- [11] 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. 纺织品 燃烧性能垂直方向损毁长度、阴燃和续燃时间的测定: GB/T 5455—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [12] 王鸿博, 马晶婧, 董维锋, 等. 消防服用面料阻燃性及热防护性综合评价[J]. 服装学报, 2019, 4(2): 102-105, 116.
- WANG Hongbo, MA Jingjing, DONG Weifeng, et al. Comprehensive evaluation of flame retardancy and thermal protection of fire-fighting fabrics[J]. Journal of Clothing Research, 2019, 4(2): 102-105, 116. (in Chinese)
- [13] 国家技术监督局. 纺织品 织物透气性的测定: GB/T 5453—1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [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. 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]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [15] 朱方龙, 樊建彬, 冯倩倩, 等. 相变材料在消防服中的应用及可行性分析[J]. 纺织学报, 2014, 35(8): 124-132.
- ZHU Fanglong, FAN Jianbin, FENG Qianqian, et al. Application and feasibility analysis of phase change materials for fire-fighting suit[J]. Journal of Textile Research, 2014, 35(8): 124-132. (in Chinese)
- [16] 殷祥刚, 管小卫, 陈蕾, 等. 阻燃防护服产品质量评价指标模型[J]. 消防科学与技术, 2016, 35(12): 1736-1739.
- YIN Xianggang, GUAN Xiaowei, CHEN Lei, et al. Quality evaluation index model of flame retardant protective clothing[J]. Fire Science and Technology, 2016, 35(12): 1736-1739. (in Chinese)

(责任编辑: 沈天琦)