

新一代消防员灭火防护服的设计方向与实例

汤爱华 朱超俊

上海伊贝纳纺织品有限公司, 上海 201514

摘要: 分析消防员灭火防护服的现状和迫切需要解决的问题, 并基于消防员职业健康角度指出下一代消防员灭火防护服的研究方向, 并给出初步的设计实例。

关键词: 消防员灭火防护服; 职业健康; 抗菌; 防霉; 防有害物质渗透

中图分类号: TS 941.7

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2024)07-0044-04

Design direction and an example of new generation fireman's protective clothing for firefighting

Tang Aihua, Zhu Chaojun

IBENA Shanghai Technical Textiles Co., Ltd., Shanghai 201514, China

Abstract: The current situation of fireman's protective clothing for firefighting and the problems that needed to be solved urgently were analyzed, the research direction of the next generation of fireman's protective clothing for firefighting was pointed out based on the perspective of firefighters occupational health, and a preliminary design example was provided.

Keywords: fireman's protective clothing for firefighting; occupational health; anti-bacterial; anti-mildew; anti-infiltration of harmful substances

消防员灭火防护服(以下简称消防服)是消防员灭火救援时穿着的对躯干、头颈、手臂和腿部等部位进行防护的专用服装,是消防员面对火焰伤害时的最后一道屏障,其对保护消防员的人身安全具有重要意义。随着国家消防员职业化改革的深入,围绕消防员职业化改革的实际要求,各类迭代的消防服研发需求变得越来越迫切,其中消防员的职业健康问题是这系列研发需求中需重点考量的问题。

1 消防服的基本介绍

1.1 基本结构和材料

消防服的基本构造一般为4层,它们分别是外层、防水透气层、隔热层和舒适层,各层按照标准设计的要求分别或共同承担相应的防护功能,具体在相应的标准中均有详细介绍。

材料方面,消防服经历了从棉帆布、阻燃处理棉

收稿日期:2023-11-11

作者简介:汤爱华,女,1983年生,工程师,主要从事特种功能性纺织品的研发工作,taiahua@ibena.cn

通信作者:朱超俊,高级工程师,zhuchaojun@ibena.cn

布到目前的以芳纶为主流、其他高性能合成纤维并存的过程。且目前国内消防服使用的材料已和国际一流产品一致,甚至在某些特定材料和设计上已高于国际一流标准。

1.2 执行标准

目前,国内执行 XF 10—2014 标准、欧洲执行 EN 469:2020 标准、美国执行 NFPA 1971:2018 标准。这三大标准虽在一些具体参数和测试方法上存在差异,但在主体材料和构造设计方面基本一致。

2 存在的主要问题

XF 10—2014 标准对消防服的热防护性能、阻燃性能、力学性能、色牢度、透湿性能等均做出了详尽的要求^[1]。该标准自 2002 年第一版制定并强制执行以来,在防护性能方面经受住了长期考验,标准规定的内容完全满足灭火需求。

近年,随着市场中各类消防服产品的创新、迭代,消防服各层材料在指标性能上有了突破性提升。如:断裂强度从标准规定的 650 N/(5 cm) 提升到 2 000 N/(5 cm) 以上,甚至部分产品做到了 3 500 N/(5 cm);热防护性能(thermal protective performance, TPP)值从标准规定的 117 J/cm²(即 28 cal/cm²)提升到了 134 J/cm²(即 32 cal/cm²),有些甚至超过了 159 J/cm²(即 38 cal/cm²)。这些参数在一定程度上确实提升了产品性能,但绝大部分还是以牺牲消防服的舒适性、耐用性和外观等为代价的,这造成了部分性能指标的过度冗余,对消防员的防护没有太多实际意义。

新开发的 3 层结构、2 层结构消防服,虽在服装的减重增效上取得了非常大的成果,服装质量更小,热防护性能和力学性能等都有了大幅提升,但由于都采用双层热膨胀型结构或波纹管状结构增大空气层的厚度,导致面料表层耐磨性降低、面料接缝强度下降、亲肤性变差,以及易残留有害物质、不易清洗干净等缺陷,应引起重视^[2-3]。

由于消防救援的特殊性,火灾救援后消防服的表面会被各种燃烧后的物质严重污染。这些物质中包含大量有毒、有害物质和微小颗粒物,如长期接触或吸入这些物质,将严重影响消防员的健康。欧美部分发达国家在灭火后对消防服有一整套的收集、

清洗流程,消防员在脱卸过程中也很少接触被污染的消防服,这有效地保证了消防员的健康。国内方面,消防服的收集和洗涤目前主要还是以消防员手洗为主,专业洗涤设备配备还不完善,加上国内消防服采用不可脱卸式设计,这使得消防服存在洗涤困难、洗不干净的状况,导致有毒有害物质残留、服装汗味与其他不良气味严重、细菌滋生及易发霉等问题,这亟须解决。

3 新一代消防服的设计方向

近年,减重增效是消防服创新的热点,且由于消防作业时间长、作业强度高的特点,减重增效仍将是后续消防服创新设计的重要方向。但就目前的材料发展状况来看,减重增效已进入瓶颈期,如材料在隔热等性能上无特别突破的话,进一步减重增效将变得异常艰难^[4-5]。

片面地提升材料指标导致指标性能过度冗余是不可取的,应从服装整体性能上综合考量产品的性能,对服装的穿着舒适度加以重视。还应从消防员职业健康的角度考虑新一代消防服的设计,使消防服在现有条件下不易被有毒有害物质侵入,不易残留有毒有害物质,且易于清洗干净。

4 新一代消防服设计实例

针对以上设计方向,选用 3 层结构作为本次设计实例的基本结构,同时对服装组合各层功能进行相应的调整。加大外层的防护效能,外层除具有阻燃、隔热、高强、耐磨等功能外,再附加防颗粒物渗透、防血液病毒渗透,以及热蒸汽防护、防水、抗菌防霉等功能;中间隔热层除具有阻燃、隔热功能外,再附加抗菌防霉、防水、易去污等功能;新舒适层将防水透气层和舒适层功能合并,同时采用双层组织结构,降低了贴膜对舒适性的影响。执行标准和测试方法参照 XF 10—2014《消防员灭火防护服》、GB/T 28895—2012《防护服装 抗油易去污防静电防护服》、GB/T 20944.3—2008《纺织品 抗菌性能的评价 第 3 部分:振荡法》、GB/T 24346—2009《纺织品 防霉性能的评价》、GB 19082—2009《医用一次性防护服技术要求》等标准,具体设计方案如下。

4.1 外层

外层采用织机面料与膨体聚四氟乙烯(ePTFE)薄膜复合的方式。外层主要参数如下。

- (1) 面密度:190~200 g/m²(其中基布为平纹方格面料,面密度为160 g/m²)。
- (2) 原料:基布中间位芳纶质量分数为93%、对位芳纶质量分数为5%、抗静电纤维质量分数为2%。
- (3) 断裂强度:经向不小于900 N/(5 cm)、纬向不小于850 N/(5 cm)。
- (4) 撕破强力:经向不小于100 N、纬向不小于100 N。
- (5) 阻燃性能:续燃时间不大于2 s、损毁长度不大于100 mm。
- (6) 过滤效率:不小于98%。
- (7) 抗合成血液渗透性能:6级。
- (8) 表面抗湿性能:不小于3级。
- (9) 易去污性能:30次洗涤后不小于3级。
- (10) 抗菌性能:对金黄色葡萄球菌的抑菌率不小于95%、对大肠埃希菌的抑菌率不小于95%、对白念珠菌的抑菌率不小于80%。
- (11) 防霉性能:不大于1级。
- (12) 耐静水压:不小于50 kPa。

4.2 隔热层

中间隔热层采用水刺非织造材料,并进行抗菌、防霉、防潮湿、易去污等处理。其除了能起到隔热作用外,还能有效降低吸水率,提高内部疏水作用,降低服装的湿重,同时抗菌防霉,面料内层不易滋生细菌,洗涤时易洗净。隔热层主要设计参数如下。

- (1) 面密度:115~125 g/m²。
- (2) 原料:基布中间位芳纶质量分数为80%、对位芳纶质量分数为20%。
- (3) 抗菌性能:对金黄色葡萄球菌的抑菌率不小于95%、对大肠埃希菌的抑菌率不小于95%、对白念珠菌的抑菌率不小于80%。
- (4) 防霉性能:不大于1级。
- (5) 表面抗湿性能:洗前不小于4级,5次洗涤晾干后不小于3级。
- (6) 易去污性能:30次洗涤后不小于3级。

4.3 新舒适层

新舒适层采用双层组织面料复合ePTFE薄膜而成。其中双层组织面料中,靠近人体面为柔软亲

肤的莱赛尔类混纺面料,贴膜面为高强度的芳纶面料。新舒适层具有吸湿亲肤、柔软、抗液体渗透、抗菌防霉等功能,其主要设计参数如下。

- (1) 面密度:200~210 g/m²(其中基布为双层组织面料,面密度为170 g/m²)。
- (2) 原料:基布中间位芳纶质量分数为35%、阻燃腈纶质量分数为35%、莱赛尔质量分数为28%、抗静电纤维质量分数为2%。
- (2) 断裂强度:经向不小于500 N/(5 cm)、纬向不小于500 N/(5 cm)。
- (3) 阻燃性能:续燃时间不大于2 s、损毁长度不大于100 mm。
- (4) 耐静水压:不小于50 kPa。
- (5) 透湿率:不小于8 000 g/(m²·d)。
- (6) 滴水扩散时间:不大于5 s。
- (7) 抗菌性能:对金黄色葡萄球菌的抑菌率不小于95%、对大肠埃希菌的抑菌率不小于95%、对白念珠菌的抑菌率不小于80%。
- (8) 防霉性能:不大于1级。

5 面料实测数据

测得本次设计制作的消防服组合面料的相关数据如表1所示。

6 结论

(1) 本文的设计实例,消防服组合TPP值为126~130 J/cm²(即30~31 cal/cm²),全套质量为2.8 kg,强力及阻燃性能等各项指标完全满足标准和减重增效要求。

(2) 服装结构设计方面,在不能制成可脱卸式消防服的前提下,下摆可采取全拉链式设计,以便于服装各层的清洗、晾晒或热风烘干。

(3) 制成的整体服装在防有害颗粒物渗透、防液态有害物质渗透,以及抗菌防霉、除臭、易洗涤等方面都有良好的表现。

(4) 除优化服装结构设计和开发有利于消防员职业健康的材料外,建议在服装收集流程和标准洗涤工序方面也展开相关的研究,并加大标准洗涤设备的投入,以利于消防员穿着时的身体健康。

表 1 消防服组合面料实测数据

Tab. 1 Measured data of composite fabric of fireman's protective clothing for firefighting

检测项目	测试方法	外层	隔热层	新舒适层	
幅宽/cm	GB/T 4667—2009	150	148	150	
面密度/(g·m ⁻²)	GB/T 4669—2008	195	118	208	
撕破强力/N	GB/T 3917.3—2009	经向	188	85	
		纬向	163	80	
断裂强力/N	GB/T 3923.1—2013	经向	958	650	
		纬向	928	600	
起毛起球性/级	GB/T 4802.2—2008	4	—	4	
续燃时间/s		经向	0	0	
		纬向	0	0	
阴燃时间/s	GB/T 5455—2014 GB 8965.1—2020	经向	0	1.6	
		纬向	0	1.7	
损毁长度/mm		经向	54	60	
		纬向	55	62	
燃烧时特征		无熔融、滴落,碳化	无熔融、滴落,碳化	无熔融、滴落,碳化	
热稳定性/%	GB 8965.1—2020	经向	0.9	1.0	
		纬向	1.1	1.0	
40℃ 缩水率/%	GB/T 8630—2013	经向	0.9	1.1	
		纬向	0.9	1.2	
耐光照色牢度/级	GB/T 8427—2019 ISO 105-B02:2014	6	—	—	
耐汗渍色牢度/级	GB/T 3922—1995	变色	4-5	4	
		沾色	4-5	4	
耐皂洗色牢度/级	GB/T 3921—2008	水洗变色	4-5	4	
		沾色	4-5	4	
耐摩擦色牢度/级	GB/T 3920—2008	干态	4-5	4	
		湿态	4-5	4	
pH 值	GB/T 7573—2009 ISO 3071:2020	6.8	7.0	6.6	
甲醛含量/(mg·kg ⁻¹)	GB/T 2912.1—2009	≤20	≤20	≤20	
5 次洗后沾水性/级	GB/T 4745—2012 ISO4920:2012	3	3	—	
耐静水压/kPa	GB/T 4744—1997	60	—	65	
50 次洗后 抑菌率/%	金黄色葡萄球菌	98	98	98	
	大肠埃希菌	GB/T 20944.3—2008	98	97	98
	白念珠菌		85	86	86
防霉性能/级	GB/T 24346—2009	0	0	0	
过滤效率/%	GB 19082—2009	99	—	—	
抗合成血液渗透性能/级	GB 19082—2009	6	—	—	
易去污性能/级	GB/T 28895—2012	4	3-4	—	
透湿率/[g·(m ² ·d) ⁻¹]		6 800	—	8 000	
滴水扩散时间/s	GB/T 21655.1—2008	—	—	3.5	

(5) 本研究未涉及服装的整体舒适性和整体人防护性能(热人)指标,下一步可针对这些方面展开

深入探讨。

(下转第 52 页)