

朱方龙 ● 著

服装的热防护功能

Fuzhuang

De

Re Fanghu
Gongneng

- 热防护功能服阻燃与热防护性能测试方法
- TPP 热流计测试过程与皮肤烧伤评价分析
- 热防护服用织物传热性能测试与分析
- 服装的热防护功能预测模型
- 应用于热防护服的复合膜织物
- 相变材料在热功能防护服上的应用



中国纺织出版社

服装的热防护功能

朱方龙 著

 中国纺织出版社

内 容 提 要

《服装的热防护功能》介绍了国内外热防护服研究现状、发展趋势及热防护服设计的相关知识,并提出了当前热防护服研究现存的问题。

结合热防护服研究特点,本书从实验和模型两方面具体阐述了热防护服设计的相关知识,包括服装防热测试装置、测试原理与测试方法,服装热防护功能预测模型及实验数据分析。在上述实验与模型分析的基础上对多层热防护服装进行配伍优化设计;对相变材料在热防护服装上的应用进行了一些有益的探讨和实践。

本书所述模型可为个体防护装备的热工效优化设计提供一定的理论基础,形成的实验方法对相关的热防护服测试设备的开发具有重要的参考意义和实用价值。本书适合于服装工程、纺织工程、材料工程等专业师生以及相关领域的实际工作者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

服装的热防护功能/朱方龙著. -- 北京:中国纺织出版社, 2015. 10

ISBN 978 - 7 - 5180 - 1990 - 8

I. ①服… II. ①朱… III. ①防热服—研究 IV. ①TS941.731

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 221384 号

责任编辑:张思思	责任校对:王花妮
责任设计:何建	责任印制:何建

中国纺织出版社出版发行
地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124
销售电话:010—67004422 传真:010—87155801
<http://www.c-textilep.com>
E-mail:faxing@c-textilep.com
中国纺织出版社天猫旗舰店
官方微博 <http://weibo.com/2119887771>
北京通天印刷有限责任公司印刷 各地新华书店经销
2015 年 10 月第 1 版第 1 次印刷
开本:710×1000 1/16 印张:12.75
字数:221 千字 定价:45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前言

在各类火灾等热灾害频发的今天,防灾、救灾的重要性日益突出。在救灾灭火过程中,保障消防等救援人员的人身安全是开展应急救援工作的前提,而研发应急救援人员穿着、具有优良阻燃隔热功能的热防护功能服装装备就显得尤为迫切。热防护功能服装性能研究是近些年来国内开展的新领域,也是一个前沿课题,能够满足“国家安全生产发展计划”中应急救援关键装备技术的要求。

在各类防护服装中,热防护功能服装是应用最为广泛的品种之一,它是指在高温环境中穿用的、能促使人体热量散发、防止热中暑、烧伤和灼伤等危害的个体防护装备,其作用是保护人体不受各种热的伤害,如对流、传导热、辐射热、熔融金属溅射以及热蒸汽或热气体的伤害。

本书试图在总结过去研究工作的基础上阐述热防护功能服装的基本概念、新型测试方法、服装热防护性能预测模型,并对新型材料在热防护功能服装上的应用作了一些探讨。全书分为七章,第一章是对热防护功能服及装备的相关基础知识的介绍,是全书的铺垫;第二章介绍了热防护服热防护性能 TPP 的测试方法,并自行设计开发了“圆筒形”热防护性能测试装置;第三章介绍了 TPP 热流计测试原理并分析评价了皮肤烧伤过程;第四章测试分析了热防护服用织物的传热学性能,包括导热系数和热辐射系数,并对导热系数进行了非线性分型预测;第五章构建了热防护服热防护性能数学预测模型,采用模型方法分析了模型参数;第六章为防水透湿复合膜织物在热防护功能服上的应用实践;第七章为相变材料在热功能防护服上的阻燃封装应用。本书以“实验测试方法——预测模型——应用实践”为框架进行编写,希望能在今后研究的基础上不断更新,不断补充相关热防护服的新知识、新理论、新方法,也希望通过本书的“抛砖引玉”,推进个体防护服的研究。

本书涉及的研究工作得到了 NSFC-河南省联合基金(U1304513)、公安部灭火救援重点实验室基金的资助以及其他省部级课题的支撑,特此向支持和关心作者研究工作的所有单位和个人表示衷心的感谢。作者还要感谢支持本项工作的师长、同仁的帮助和支持;感谢出版社编辑为本书出版付出的辛勤劳动。书中有部分内容参考了其他单位或学者的研究成果,均已在参考文献中列出,在此一并感谢。

由于《服装的热防护功能》所追求的目标是研究阻燃防护系列服装的热防护性能 TPP 新型测试分析方法、模型预测,并首次提出相变材料在热防护服的阻燃封装应用,这给撰写本书增加了难度。同时加上作者水平有限,虽经几次改稿,书中错误和缺点仍在所难免,欢迎广大读者批评指正。

朱方龙
2015 年 8 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 热防护服分类概述	2
一、消防服	2
二、蒸汽热防护服	5
三、电弧防护服	8
四、防熔融金属飞溅防护服	8
五、热辐射防护服	9
六、防液体喷溅防护服	10
第二节 人体皮肤结构及烧伤等级	13
一、皮肤结构和热属性	13
二、皮肤烧伤过程	14
三、皮肤烧伤分类	14
四、皮肤温度预测	15
五、皮肤烧伤度预测	17
第三节 热防护服传热模型回顾	22
一、托尔维(Torvi)“织物—空气层—铜片热流计”系统传热模型	22
二、吉布森(Gibson)热湿传递多相模型	23
三、梅尔(Mell)消防服传热模型	24
四、其他模型	24
第四节 本章小结	25
第二章 热防护功能服阻燃与热防护性能测试方法	31
第一节 织物与服装阻燃性能测试方法	32
一、燃烧试验法	32
二、极限氧指数法	32
三、烟密度箱实验法	33

四、热分析法	33
五、锥形量热仪法	34
第二节 一维平面热防护测试装置	35
一、ASTM D 4108 明火法测试防护材料的热防护性能	35
二、NFPA 1971 建筑结构防火用防护装备	36
三、NFPA 1977 防野火用防护服与装备——热辐射防护性能测试方法	37
第三节 圆筒形热防护测试装置	38
一、国外圆筒测试装置	38
二、耐高温圆筒热防护测试装置研制	39
第四节 “火人”测试装置	46
一、国外服装热防护性能“火人”测试方法	46
二、国内服装热防护性能“火人”测试方法	47
第五节 本章小结	48
 第三章 TPP 热流计测试过程与皮肤烧伤评价分析	52
第一节 热流计测试过程分析	52
一、TPP 铜片热流计测试数据分析	52
二、皮肤模拟器测试数据分析	54
三、TPP 铜片热量计与皮肤模拟器测试温度比较	56
第二节 非恒定热流量下皮肤温度变化	57
一、Pennes 一维皮肤传热模型	57
二、考虑皮肤组织温度振荡效应的皮肤传热模型	59
第三节 皮肤烧伤度确定方法	61
一、铜片热流计	61
二、皮肤模拟传感器	61
第四节 本章小结	63
 第四章 热防护服用织物传热性能测试与分析	65
第一节 防护织物的热传导机理及测试方法	65
一、纺织隔热材料的导热机理和导热系数	65
二、国内外对服用织物有效导热系数的研究	66
第二节 高温辐射环境下织物导热系数的实验研究	67

一、测量导热系数的理论分析	69
二、改进单板分析方法	72
三、测试装置的结构及控制系统	73
四、试样	75
五、实验误差分析	75
六、实验控制和调试	77
七、实验结果及分析	78
第三节 织物热辐射系数测试	81
第四节 热防护织物导热系数分形理论模型	84
一、机织物中纱线的分形几何结构	84
二、有效导热系数的分形模型	88
三、多层织物有效导热系数分形模型的实验验证	91
四、结论	92
第五节 本章小结	93
 第五章 服装的热防护功能预测模型	98
第一节 热防护服装传热模型	98
一、防护服传热模型	99
二、防护服热传递模型的初始条件和边界条件	100
三、热辐射对织物作用分析	103
第二节 服装层下微小空间的能量热递	106
一、圆筒形微小空气层对流换热量的计算	107
二、微小空气层辐射换热量的计算	107
第三节 皮肤(模拟器)传热模型及皮肤烧伤模型	108
一、皮肤传热方程	108
二、皮肤模拟器传热方程	110
三、皮肤烧伤积分模型	111
第四节 热防护服传热模型中的面料性能参数分析	111
一、服装面料试样	111
二、服装面料厚度	111
三、服装面料密度	112
四、服装面料有效导热系数	112

五、服装面料比热及热裂解温度	113
六、服装面料透射系数与辐射系数	114
七、模型用织物参数小结	115
第五节 模型求解、验证及精确检验	116
一、模型的数值求解	116
二、数值模型的验证	118
三、模型预测精度检验	121
第六节 模型参数分析	123
一、织物厚度	123
二、面料导热系数	125
三、比热	127
四、辐射率	129
五、透射率	130
第七节 本章小结	131
 第六章 应用于热防护服的复合膜织物	134
第一节 复合膜的研究现状及在热防护服上的应用现状	134
一、复合膜的研究现状	134
二、复合膜在热防护服上的应用现状	135
第二节 自主研发防水透湿复合膜	136
一、实验	136
二、结果与讨论	139
第三节 电阻法模拟膜透湿机理	143
一、建立理论模型	144
二、实验验证	147
三、实验结果与分析	150
四、小结	153
第四节 自主研发复合膜在热防护服上的应用可行性分析	154
一、热防护性能的探讨	154
二、阻隔防护性能的探讨	154
三、实验验证	155
第五节 本章小结	157

第七章	相变材料在热功能防护服上的应用	160
第一节	相变材料在热功能防护服中的应用及可行性分析	160
一、	相变材料应用于热功能防护服的研究现状	160
二、	热功能防护服用石蜡类相变材料封装方法及阻燃处理	164
三、	相变材料抑制热功能防护服层内温度突变的可行性	166
四、	相变材料应用于热功能防护服的研究趋势与重点	168
五、	结论	170
第二节	基于模型法的相变材料在多层防护服内的配置方式	170
一、	数学模型	171
二、	实验	172
三、	结果与讨论	174
四、	结论	178
第三节	相变微胶囊材料在热防护服上的应用	178
一、	实验选材	179
二、	实验测试	179
三、	实验测试结果及分析	180
第四节	形状稳定型相变材料在热防护服上的应用	181
一、	形状稳定型相变调温背心的应用前景	181
二、	材料选择	182
三、	制作过程	183
四、	实验设计与结果分析	185
第五节	本章小结	186

第一章 绪论

在各类防护服中,热防护服是应用最为广泛的品种之一。热防护服是指在高温环境中穿用的、能促使人体热量散发、防止热中暑、烧伤和灼伤等危害的个体防护装备,其作用是保护人体不受各种热的伤害,如对流、传导热、辐射热、熔融金属溅射以及热蒸汽或热气体的伤害。热防护服不仅具有普通防护服的服用性能,更必须具备在高温条件下对人体进行安全防护的功能。热防护服的热防护性能取决于热防护服的使用场合和使用环境,包括中温和高温强热流环境,同时热防护性能也与热量传递的方式有关。

热防护服的防护原理主要是降低热转移速度,减少热在人体皮肤上的积聚,从而保护皮肤不被烧伤或灼伤,因此防护服不仅要求其阻燃性好,且具有高的隔热性能。在高温环境下,皮肤可能会受到以下热危险:火焰(对流热);接触热;辐射热;火花和熔融金属喷射物、高温气体和热蒸汽、电弧所产生的高热等。热源中的火焰、高温气体、热蒸汽是以热对流方式传递热量,接触热、火花和熔滴金属是以热传导方式传递,而辐射热则以热辐射方式传递。因此,防高温、消防服等热防护服须满足以下要求:阻燃(不能续燃而成为危险因素);质量完善可靠(受热不收缩、不熔融、不放出有害气体或形成烧焦炭化等);绝热(阻止热传递);防液体渗透(防止油、溶剂、水或其他液体渗透)。

热防护服能防止辐射热的侵入,促进汗液的挥发,增进体热散发。铠甲式工作服、铝箔工作服较常用,但防热效果有限,穿着时人体感到闷热,因此,应正确选择防护服及服装层数,使各层配伍性达到最佳,既能达到阻燃隔热,又能使人穿着舒适。

热防护服是随着时代的变化而发展的。从防护性能考虑,必须具有耐火性、耐热性和隔热性,还须具有防撕裂性,防止锐利物体的冲击、碰撞等。此外,还要具备能够阻止化学物品对皮肤的伤害的性能。从作业效率方面考虑,作业人员要有活动余地,热防护应尽量选用伸缩性能良好的材料,结构设计合理,穿脱方便。

目前,热防护服大致可分为两种结构:一种是上下分体式,另一种是上下连体式,二者各有利弊。上下分身的热防护服的优点是安全性高、容易活动、不易沾湿、防水性好、耐寒性好、功能和外观好。缺点是散热性差、体热不易排出、造价高、衣体重;上

下连体式热防护服的优点是散热性高、体热容易排出、造价低。缺点是安全性稍差、活动不方便。

热防护服装的总发展趋势是全面防护,实现由单一危险因素防护到多种危害因素的综合防护,由强调防护性向重视人体工效学特征与舒适性的转变。主要体现在三个方面:一是服装材料的高性能化;二是新型材料开发技术的发展;三是织物复合及后整理加工技术的不断成熟。

第一节 热防护服分类概述

在热防护服的实际应用中,针对不同的使用目的和使用环境,对热防护性能和其他性能的要求也不同。在热防护服的性能研究中,既要注重热防护服性能要求的全面性,即热防护服同时具备良好的热防护性能、服用性能和穿着舒适性能,又要根据各类热防护服的不同用途,在其性能要求上有所侧重,结合不同的使用环境增加或增强热防护服在某些性能方面的要求,使热防护服的性能要求进一步趋向全面、合理。本节主要围绕热防护服的常见品种进行叙述和展开。

一、消防服

消防服作为消防队员的重要防护装备,其作用是保护消防队员在灭火抢险作业时免受火焰、炽热物体、热蒸汽对流、辐射和热传导对人体造成的伤害,从而保护消防队员的人身安全。

(一)消防服的研究进展

从20世纪80年代开始,世界一些发达国家开始对防护服装的性能进行研究,经过几十年的发展,消防服的性能有了很大的改善和提高。克拉斯尼(Krasny)分析研究了消防服用织物应该具备的性能和需满足的要求,维迪(Veghte)讨论了消防服设计中应特别注意的一些问题,譬如火灾环境的复杂多样性,皮肤的烧伤,消防员作业中的热应激等。福奈尔(Fornell)讨论了消防服在使用方面的一些重要问题,如消防服的合体性、初步探讨了消防服上衣和裤子连体设计的防护性能和服用性能。罗特曼(Rotmann)总结了消防服的发展现状,提出了消防服需要改进的地方。在这些学者研究的基础上,国际标准化组织、美国国家标准研究院建筑与火灾研究实验室、美国消防协会都分别制定了相关的标准,对热防护服面料的性能、防护服层数、尺寸号型标准、款式设计要求、防护性能要求、标志要求及各性能的测试做了详尽的规定。

消防服通常分为三层构造,由外及内分别是阻燃层、汽障层和隔热层。图 1-1 是典型消防类热防护服多层结构示意图。需要指出的是,蒸汽阻挡层能使消防队员不受蒸汽或有毒化学物的伤害,但它却阻挡了人体汗液的蒸发并使热债上升,这可能使消防队员健康和受到威胁。因此,美国消防服中常用蒸汽阻挡层,而在一些欧洲国家却被摒弃不用。

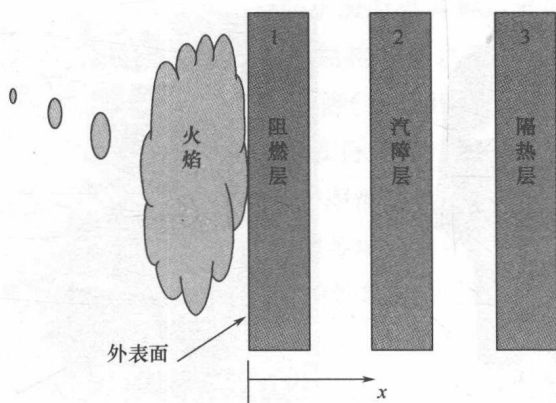


图 1-1 消防战斗服装典型三层结构示意图

与国外相比,我国消防服的研究起步较晚,在其开发、设计、生产和性能测试评价等方面尚未形成系统的标准和方法。我国消防服的发展主要经历了四个阶段:1985 年之前的纯棉帆布制服;1985 年后替代的 85 型阻燃棉防护服,其结构分两层,外层为黄绿色阻燃棉织物,内层采用纯棉绸,并经阻燃、防水、拒水处理,其透气性能良好,但不耐洗涤,强力较低;94 型消防战斗服在 85 型基础上增加了缀钉反光标志带,其款式、结构、颜色与 85 型相同;97 型消防战斗服在 94 型的基础上,参照国际相关标准,采用四层构造,由外及内构成分别是:外层、防水透汽层、隔热层和舒适层。外层采用具有较高阻燃性的本质型阻燃纤维(如 Nomex[®] IIIA、芳纶、PBI、Kevlar、芳腈纶等),耐高温且防穿刺;防水透汽层多采用微孔膜织物,如美国 Gore 公司的聚四氟乙烯薄膜,阻挡外界高温液滴侵入,同时排出人体汗气,以防消防员出现中暑、热应激等影响作业效率的情况发生,保障消防作业人员的人身安全不受威胁;隔热层主要采用针刺无纺方法加工的阻燃黏胶、碳纤维毡或其他本质型阻燃毡材料;舒适层多为阻燃棉布或汗布。

值得一提的是,公安部上海消防研究所承担的公安部技术研究项目《新一代轻质高效消防员灭火防护服研制》取得了消防服新的研究成果。该项目针对如何保证消防员防护服重量轻、吸水少,提高穿着散热性和舒适性问题,将不同层次的材料(如防

水透汽层和隔热层)复合在一起形成单层材料层,降低重量和吸水效果,进一步研制出具有三层结构的新一代消防灭火防护服。

消防服款式结构方面则主要分为上下连体与上下分体两种形式。分体结构的消防服的优点是运动方便,但是热量容易通过开缝进入人体造成烧伤;连体结构的特点是:封闭性较好,但易造成热蓄积。国内市场上常见的消防服结构如图 1-2 所示。



(a)多层分体式消防服



(b)单层连体式消防服

图 1-2 国内常见的消防服结构

(二)消防服的测试标准及测试方法

美国、欧洲等西方发达国家对消防服的研究和开发较早,目前已制订并实施了一系列先进和完善的消防服产品标准和测试方法。现在,国际上采用的主要有 ASTM (美国试验与材料协会)、NFPA(美国国家防火协会)、EN(欧盟)所制订的测试方法。如 ASTM D4108-87 服装材料热防护性能、TPP(Thermal Protective Performance)明火测试方法、ASTM F 1930-00 Thermo-man[®]铜体火人测试方法、NFPA1971 多层结构消防服标准、NFPA1977 野外森林灭火防护服或装备的热辐射防护性能、ISO 9151 消防服阻燃及隔热性能测试标准等。我国现在采用的标准主要是公安部消防研究所颁布的 GA10-2014 消防员灭火用防护服,GA633-2006 消防员抢险救援防护服、GA634-2006 消防员用隔热防护服。在这些测试方法中,都比较详细地规定了消防服的阻燃性能、隔热性能、完整性和抗液体透过性的评价标准,可以比较全面地反应和评价消防服的綜合热防护性能。

(三)消防服热防护性能的影响因素分析

针对消防员作战环境的多样性和复杂性,一些学者对可能会给消防服的性能造成影响的因素进行了探讨分析。戴(M. C. Day)等模拟了长时间暴露在氙弧灯和热箱下织物性能的变化,并和原织物进行了比较分析,分析研究的结果显示光和热作用能

够降低织物的强度,但对织物的阻燃和热防护性能的影响不明显。布莱恩(Bryan)和汉普顿(Hampton)等研究了存在化学物质的情况下织物强度的变化,发现某些化学物质对织物强度的影响是可测的,并且通过对热量计的对比可以测定出织物在化学物质中暴露的时间。消防员的热应激与防护服内部水分的转移密切相关,齐默利(Zimmerli)研究了在防护服内的水分对防护服内部热量传导过程的影响。另外一些学者则从生理角度测试对比了消防员穿和不穿防护服时做各种运动时的心率和体温。弗里姆(Frim)等通过实验发现消防员身着不同结构和防水透汽层的防护服时,其生理耐热参数有很大的差异。哈克(Huck)和麦卡洛(McCullough)将火人模型测试的数据与消防员的主观感受结合起来评价防护服在实际使用中的效果。维迪(Veghte)测试了在实验室制造的各种极限条件下,身着防护服消防员的热生理反应。

一般来说,在影响防护服的热防护性能的各项因素中,服装的厚度是决定其防护水平的重要因素,一般来说,厚度越厚,其防护性能越好;然而,越厚重的服装会阻碍人体汗汽的散发,会大大降低消防员的作业效率,可能会造成人体的热中暑。另外,从某种程度来说,服装的整体厚度影响人体热舒适性的程度要大大高于组成该服装的纤维种类。

二、蒸汽热防护服

蒸汽防护也是热防护的一种,防护热源是高温热蒸汽,它不同于前面的火场消防安全防护。高温蒸汽环境中,热量传递的主要方式是热对流,当蒸汽与防护材料未接触时有热辐射,接触后则有热传导,因此,蒸汽防护是对对流、传导、辐射的综合防护。蒸汽热防护服装是对高温蒸汽环境下的从业人员进行安全防护、避免其被高温热蒸汽伤害的一种个体防护装备。

(一) 蒸汽防护服的性能要求

蒸汽防护服装需具备防蒸汽透过性能、耐高温性能和隔热性能等。防蒸汽透过性能是指能够防止热蒸汽在自身压力或外界压力下穿透服装的性能。蒸汽一旦透过服装,将直接对人体造成伤害。耐高温性能是指服装在高温热蒸汽环境下,能够保持织物原有的外观形态,内在质量不降低,不会发生熔融、收缩和脆化断裂等。隔热性是指防护服必须具备较好的热减缓和阻止热量传递的性能。具有良好隔热性的防护服能为穿着者在外界高温蒸汽和人体之间提供一道保护屏障,使外界热量难以通过服装,从而为穿着者提供安全防护。

优良的蒸汽防护服还须具备防断裂、防撕破、耐磨等服用功能。在此基础上,力求达到功能性和舒适性的综合平衡。

(二) 蒸汽防护服的研究现状

国外为提高高温蒸汽环境下工作人员的安全系数,很早就开始进行蒸汽防护服的研究。其中,美国、法国、日本在这方面的研究成果较为显著。

1. 美国杜邦(Dupont)蒸汽防护服装

美国杜邦公司于1994年开发了一种由Nomex织物、Sontara仿丝织物夹芯、Kevlar/Nomex混纺织物以及蒸汽阻挡膜等多层材料复合而成的民用蒸汽防护服装。该套蒸汽防护服装能全部遮盖身体,头巾、围嘴很长,能遮住胸部,有利于护颈;手套袖筒较长,能覆盖袖口,有利于护腕;另外,还安装有旋风冷却系统,增加整套服装的穿着舒适性。适用于发电厂蒸汽轮机工作人员、蒸汽管道检修人员和仪表安装人员使用。

2. 美国海军蒸汽防护服装

美国海军为潜艇装备了全套蒸汽防护装备,使工作人员能够安全进入充满蒸汽的潜艇舱室实施紧急修理或人员救援。整套装备由蒸汽防护服[图1-3(a)]、隔热头套[图1-3(b)]、蒸汽防护手套[图1-3(c)]和蒸汽防护靴4部分组成。服装内必须配备连体消防服并佩戴自携式呼吸器,以配合蒸汽防护服同时使用。



图1-3 美国海军蒸汽防护装备

3. 日本过热蒸汽防护服

日本专利JP20079380于2007年1月18日公开了一种过热蒸汽防护面料和由该面料制成的过热防护服。该套服装能耐受 180°C 过热蒸汽,防护时间可达10min以上。蒸汽防护复合面料由表面层、中间层和衬里层组成,如图1-4所示。图1-5是采用该面料制作的过热蒸汽防护服,由连体服和防护帽组成,连体服由裤子和上衣组成,有两袖口、两裤脚口 and 后背穿脱直开口共计5个开口,这些开口处用注塑拉链和拉链盖或内侧缝制松紧带的方式形成无缝隙结构,缝制时形成的针孔用耐热性防水

剂堵死,这样就防止过热蒸汽由上部、下部和针孔侵入。

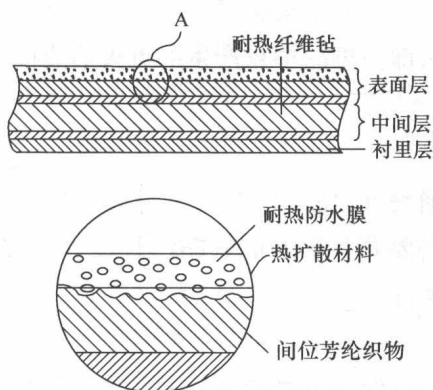


图 1-4 日本过热蒸汽防护面料

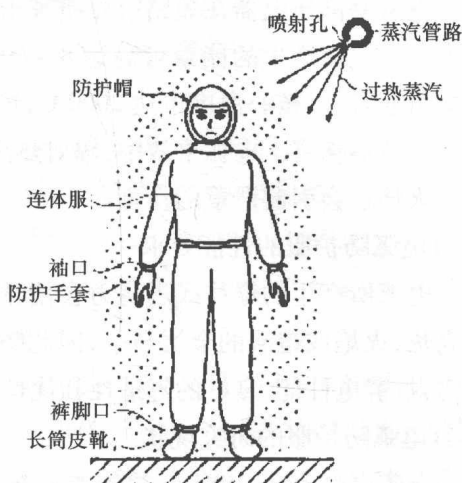


图 1-5 过热蒸汽防护服

4. 法国蒸汽防护研究

法国为保护海军工作人员特别是核潜艇工作人员,避免其意外暴露在热蒸汽中造成危害,在法国海军医学研究所建立了蒸汽实验室,通过搭建一系列特殊试验设备来研究热蒸汽暴露对人的热生理影响,从而可以评价纺织品和防护服装的蒸汽防护能力,以此来满足法国海军的蒸汽防护需求,保护法国海军工作人员免受意外蒸汽暴露造成的伤害。研究表明:同种厚度情况下,不透汽织物比透汽织物能更有效地限制蒸汽的热传递。开始暴露于蒸汽喷射环境时,透汽织物因为水分的凝聚、分散和织物对水分的吸收散热可能有热流量峰值。对透汽织物进行涂层处理后此现象消失;材料越厚,它的热防护性能越好,但存在最大值。在织物里侧增加同样厚度的材料,不透汽织物复合材料的防护性能更好;服装和织物的蒸汽防护性能存在一致性。具有一定厚度、多层、不透汽的服装能够提供理想的蒸汽防护;服装的松紧程度对防护性能也有影响。宽松式裁剪使服装和皮肤之间的空气层变厚,则更有利于蒸汽防护。

5. 我国的蒸汽防护服装研究现状

目前,我国对人体暴露于热蒸汽的生理变化及对蒸汽灼伤后的医学处理研究较多,但对蒸汽防护服的研究还处于初级阶段,主要有海军医学研究所的张富丽针对芳砜纶复合材料的蒸汽防护性能进行了探索性的研究,而服装的蒸汽防护机理、织物及服装的蒸汽防护性能仿生模拟评价等方面的研究还有待深入。