

# 热区湿热环境防护服热湿传递性能评测

刘 林, 刘丽英

(第二军医大学 海军医学研究所, 上海 200433)

**摘要:** 为了评测热区湿热环境防护服面料及服装组合的热湿舒适性能, 利用出汗热平板测量面料的热阻、湿阻性能, 利用暖体假人测量不同服装组合的热阻、湿阻性能。结果表明: 热区防护服迷彩外套面料热阻值小于  $0.10^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ , 外套和内衣面料总散热量均大于  $400 \text{ W}/\text{m}^2$ ; 可拆卸袖设计使服装热阻低至 1.60 clo, 湿阻值低至  $38.217 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ 。试验证明, 热区湿热环境防护服可以满足人体进行中等或者高等活动强度时的散热要求, 可拆卸袖设计提高了服装整体的热、湿传递性能。

**关键词:** 防护服; 热传导; 散热; 湿传递; 热阻性能; 湿阻性能

**中图分类号:** TS101.923

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2044(2018)09-0026-03

## Evaluation of heat-moisture transfer capability of protective suits for hot and humid environment in tropical area

LIU Lin, LIU Liying

(Naval Research Institute, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** To evaluate the heat-moisture transfer capability for fabrics and suits to provide theoretical support for the development of protective suits for hot and humid environment in tropical area. The evaluation of  $R_{cl}$  and  $R_{ef}$  is carried out by sweating guarded hotplate and thermal manikin. Results show that  $R_{ef}$  of fabrics for protective suits is under  $0.10^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ , and  $Q_t$  is above  $400 \text{ W}/\text{m}^2$ ; detachable sleeve design makes  $RT$  of protective suits low to 1.60 clo and  $RE$  to  $38.217 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ . The tests show that the protective suits for hot and humid environment in tropical area can meet the requirements of heat dissipation when doing moderate or high intensity activities, and the detachable sleeve design can improve the heat-moisture transfer capability of the overall suits.

**Key words:** protective clothing; heat transmission; heat disipation; moisture transmission; heat resistance; moisture resistance

高热高湿环境对单兵防护服装提出了极高的要求, 既要具备伪装、阻燃等防护性能, 还必须具有散热、透湿等舒适性能<sup>[1-4]</sup>。本文首先对防护服装及其配套内衣面料进行热湿传递性能评测, 然后利用暖体假人对湿热环境防护服套装的热阻和湿阻性能进行评测和分析, 为热区湿热环境防护服装的研发提供支持。

## 1 织物热湿传递性能测试

### 1.1 测试样本

测试样本包括热区湿热环境单兵防护服装(以下简称“热区防护服”)面料试样(a), 经密为 97.33 根/10 cm, 纬密为 191.33 根/10 cm; 长袖长裤内衣面料试样(b), 横密为 105.7 个/50 mm, 纵密为 84.3 个/50 mm。基本参数的相关测试如下: 采用织物密度镜, 根据 GB/T 4668—1995《机织物密度的测定》测试织物密度, 样本尺寸无具体规定; 采用电子天平, 根据 GB/T 4669—2008《纺织品 机织物 单位长度质量和单位面

积质量的测定》测试织物面密度, 样本尺寸为  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ; 采用 YG(B) 141D 型数字式织物厚度仪, 根据 GB/T 3820—1997《纺织品和纺织制品厚度的测定》测试织物厚度, 样本尺寸为  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ; 采用 YG461E 型电容式织物透气性测试仪, 根据 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》测试织物透气性, 样本尺寸为  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 。织物基本参数见表 1。

表 1 织物基本参数

编号	厚度/mm	面密度/( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )	透气性/( $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ )
a	0.47	219.24	200.78
b	0.54	138.81	1 111.6

### 1.2 测试条件

采用美国西北测试技术公司(MTNW)生产的 306-200/400 型出汗热平板, 测量织物的热阻( $R_{cl}$ )、湿阻( $R_{ef}$ )、总散热量( $Q_t$ )和透湿指数( $i_m$ )。测量范围为: 热阻  $0.002 \sim 2.0(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ 、湿阻  $0 \sim 1\ 000(\text{m}^2 \cdot \text{Pa})/\text{W}$ 。测量精度为: 温度  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度  $\pm 3\%$ 、风速  $\pm 1\%$ 、功率  $\pm 0.5\%$ 。

织物系统的热阻、湿阻和透湿指数根据测试软件直接读出。织物系统的总散热量( $THL$ )根据式(1)计算得到:

收稿日期: 2018-02-26

基金项目: 全军后勤科研计划重大项目(AHJ14C015)

作者简介: 刘林(1985—), 男, 四川绵阳人, 助理研究员, 主要从事军队特种被服装具的研究。

通信作者: 刘丽英。E-mail: llyhys@163.com。

$$Q_t = \frac{10}{R_{ef} + 0.04} + \frac{3.57}{R_{efa} + 0.0035} \quad (1)$$

式中： $Q_t$ ——总散热量， $W/m^2$ ；

$R_{ef}$ ——试样的固有热阻， $K \cdot m^2/W$ ；

$R_{efa}$ ——试样的固有蒸发阻力， $kPa \cdot m^2/W$

试验参数设置见表2。

表2 织物热湿传递性能测试参数设置

测试指标	气候舱温度/ $^{\circ}C$	气候舱相对湿度/%	气候舱风速/ $(m \cdot s^{-1})$	热平板温度/ $^{\circ}C$	试样尺寸/ $(cm \times cm)$
热阻	20	65	1.0	35	50×50
湿阻	35	40	1.0	35	50×50

### 1.3 测试结果

织物热湿传递性能测试结果见表3。

表3 织物热湿传递性能测试结果

织物编号	总热阻/ $(^{\circ}C \cdot m^2 \cdot W^{-1})$	总湿阻/ $(Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1})$	总散热量/ $(W \cdot m^{-2})$	透湿指数
a	0.09	13.420	469.39	0.39
b	0.10	12.880	469.42	0.48

### 1.4 结果分析

由表3可知，热区防护服套装中使用的迷彩外套面料热阻值小于 $0.10^{\circ}C \cdot m^2/W$ 。说明迷彩面料的热传递性能较好，当人体大量产热时，能有效促进人体热量向外散失。

长款内衣面料热阻值为 $0.10^{\circ}C \cdot m^2/W$ ，属于保暖型面料，当环境温度较低或人体活动水平较低时，能有效阻止人体热量散失，起到保暖作用。

迷彩外套面料和长款内衣面料的总散热量均大于 $400 W/m^2$ ，说明二者的组合可以满足人体进行中等或者高等强度活动时的散热需求。

## 2 服装热湿传递性能

### 2.1 测试样本

测试样本包括热区防护服外套、短款内衣裤、长款

内衣裤，其中短款内衣裤用于高温环境，长款内衣裤用于常温环境，热区防护服外套袖子可拆卸、腋下可打开。根据热区防护服外套的可变特性，对测试样本进行组合，形成4组测试样本(试样1#~4#)分别为：长款内衣裤+长袖热区防护服，腋下闭合；短款内衣裤+短袖热区防护服，腋下打开；短款内衣裤+长袖热区防护服，腋下打开；短款内衣裤+长袖热区防护服，腋下闭合。

### 2.2 测试条件

采用美国西北测试技术公司(MTNW)生产的序列号为P462的NEWTON-34区段出汗暖体假人(Thermal Manikin)，测量热区防护服套装的热阻( $R_T$ )、湿阻( $R_E$ )、局部热阻( $R_{Ti}$ )、局部湿阻( $R_{Ei}$ )、局部散热量( $Q_i$ )。服装热阻测试参照ASTM F1291—1999《使用出汗暖体假人测服装热阻值的标准测试方法》，服装湿阻测试参照ASTM F2370—2015《使用出汗暖体假人测服装蒸发散热阻力的标准测试方法》。试验在 $5 m \times 5 m \times 2.5 m$ 的人工气候舱内进行，试验测试参数设置见表4。

表4 服装热湿传递性能测试参数设置

测试指标	气候舱温度/ $^{\circ}C$	气候舱相对湿度/%	气候舱风速/ $(m \cdot s^{-1})$	暖体假人皮肤温度/ $^{\circ}C$	出汗量/ $(g \cdot h^{-1} \cdot m^{-2})$
热阻	20	50	0.15	34	—
湿阻	35	45	0.40	35	800

### 2.3 测试结果

使用NEWTON-34区段出汗暖体假人测试热区防护服4种组合套装的总热阻、总湿阻、局部热阻、局部湿阻、局部散热量，测试结果见表5、6。

表5 服装总热、湿阻值

项目	1#	2#	3#	4#
总热阻/clo	1.84	1.60	1.79	1.83
总湿阻/ $(Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1})$	46.827	38.217	38.767	38.860

表6 服装各部位热湿传递性能测试结果

项目	局部热阻值/clo				干热散失量/ $(W \cdot m^{-2})$				局部湿阻值/ $(Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1})$				局部蒸发散热量/ $(W \cdot m^{-2})$			
	1#	2#	3#	4#	1#	2#	3#	4#	1#	2#	3#	4#	1#	2#	3#	4#
上臂	0.26	0.23	0.25	0.26	53.573	62.053	54.074	53.448	44.194	33.141	33.557	34.477	75.186	100.155	97.472	96.645
下臂	0.28	0.10	0.21	0.23	49.948	137.878	65.278	61.494	40.836	16.643	31.850	32.270	80.950	199.444	104.409	103.017
胸背部	0.41	0.39	0.39	0.41	34.670	35.608	35.665	34.101	101.105	69.930	62.653	62.876	33.337	47.893	53.384	53.149

对于局部热阻、湿阻、散热量数据的采集，选择了与热区防护服腋下可打开、袖子可拆卸这两个可变因素相关的部位，即上臂、下臂、胸背部。假人在这3个部位分别设有2个温度传感器，测试结果取两个传感

器的均值。另外，考虑到假人的左右对称性，上、下臂的数据为左右臂测试结果的均值。

### 2.4 测试结果分析

#### 2.4.1 热传递性能

由表5可知,在短款内衣和热区防护服的组合中,组合3#的热阻值比组合4#略小。进一步分析,从上臂、胸背部和下臂3个部位来看,腋下打开的组合3#的热阻值均小于腋下闭合的组合4#热阻值,说明在无风且假人处于静止的情况下,服装腋下开口对其自身散热能力有一定的积极影响。

由表5还可以看出,组合2#比组合3#总热阻值下降13%。就上臂和下臂两个受袖子拆卸影响较大的部位来看,2#组合套装上臂处的热阻值略低于3#,2#组合下臂处的热阻值较3#降低50%左右;同时2#组合上臂和下臂处的干散热量也都明显增加,尤其是下臂部位,增加约50%,说明可拆卸袖子的设计在较大程度上降低了服装的隔热性能,即短袖款热区防护服可以更好地促进人体热量散失。

#### 2.4.2 湿传递性能

由表1可知,1#组合的总湿阻值最大,为 $46.827 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ ,这是因为当人体出汗后,1#组合中的长款内衣裤不利于人体汗液蒸发。

对比2#、3#、4#短款内衣套装,组合3#相比组合4#总湿阻值略低,可能是由于标准湿阻无风且假人静止的测试条件使得腋下打开服装的通风效应不明显。进一步分析局部湿阻和局部蒸发散热量可知,组合3#相比组合4#上臂、下臂和胸背处的湿阻值略低,蒸发散热量微量增加,说明腋下开口设计对改善服装湿传递性能表现出有限的积极影响。

(上接第20页)

丝纤维的表面。与此同时,经过30次洗涤后,纳米银整理后的真丝织物对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌率有一定程度的下降,但下降幅度有限,抑菌率也都保持在98%以上,说明纳米银整理后织物具有很好的抗菌性能。

### 3 结 语

(1)以葡萄籽提取物为生物还原剂,采用一步法工艺实现了纳米银在真丝纤维表面的原位还原,在赋予织物金黄色色泽的同时,实现了对真丝织物的功能化整理。

(2)通过测定纳米银溶液的紫外-可见吸收光谱曲线和TEM图谱分析,得知纳米银溶液的SPR峰出现在426 nm处,从TEM图中可明显看到纳米银粒子的形状为球形或者近似球形,其平均粒径在40 nm

2#组合的总湿阻值低于3#组合,同时对比2#组合和3#组合的局部湿阻和蒸发散热量可知,可拆卸袖子的设计可以降低服装手臂处约50%湿阻,显著增加手臂处的蒸发散热量,说明可拆卸袖子的设计有助于提高热区防护服套装整体的湿传递性能。

### 3 结 语

(1)热区防护服套装中迷彩外套面料热阻值小于 $0.10^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ ,热传递性能较好,当人体大量产热时,能有效促进人体热量向外散失。迷彩外套面料和长款内衣面料的总散热量均大于 $400 \text{ W}/\text{m}^2$ ,说明二者的组合可以满足人体进行中等或者高强度活动时的散热需求。

(2)在无风环境且人体静止的状态下,腋下可打开的设计对于提高服装干热散失能力有一定积极影响,同时对改善服装湿传递性能表现出有限的积极影响。

(3)可拆卸袖子的设计使得服装的热阻低至1.60 clo,湿阻值低至 $38.217 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ ,很好地提高了热区防护服套装整体的热、湿传递性能。

#### 参考文献:

- [1] 李亿光,刘丽英,刘林.织物特性对热湿传递性能的影响[J].上海纺织科技,2015(2):20-22.
- [2] 王婷婷,刘晓霞,庄明宇.不同温度环境下织物导热机理的探讨[J].上海纺织科技,2015(11):22-26.
- [3] 雷中祥,钱晓明.出汗暖体假人的研究现状及发展趋势[J].丝绸,2015(9):32-36.
- [4] 陆丽娅,张辉.服装热舒适性评价指标及方法概述[J].纺织科技进展,2014(4):58-61.

左右。

(3)纳米银整理后的蚕丝纤维表面分布着纳米银粒子,织物的色牢度优良,并且对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌具有优良的抑菌性能,即使经过30次洗涤后,抑菌率仍然在98%以上。

#### 参考文献:

- [1] 季君晖.抗菌纤维及织物的研究进展[J].纺织科学研究,2005(2):1-8.
- [2] 张德锁,廖艳芬,林红,等.纳米银的制备及其对真丝织物的抗菌整理[J].丝绸,2013,50(7):5-11.
- [3] 岳新霞,蒋芳,黄继伟,等.茶叶提取物纳米银的制备及其对棉织物的抗菌整理[J].上海纺织科技,2014,42(5):45-49.
- [4] 蒋芳,李林,林海涛,等.艾叶纳米银对真丝织物的抗菌整理工艺研究[J].上海纺织科技,2015,43(3):29-35.
- [5] 缪宏超,林红,陈宇岳.仙人掌纳米银的制备及其对桑蚕丝织物的抗菌整理[J].纺织学报,2010,31(3):88-91.