

# 间隔织物对防弹衣热舒适性能改善的研究

文 / 龚小舟, 李保军, 郭依伦

**摘要:**文章探讨利用间隔织物对防弹衣舒适性能进行改善。将现有防弹衣面料用间隔织物进行替换,并通过红外热成像方法对人体穿着改良后防弹衣的面料及人体温度进行监测,标定面料的热传导量,以此对防弹衣的舒适性能改善的可行性进行探讨。实验结果表明:在相同测试条件下,以经编间隔织物为里料的防弹衣的热湿传导性能良好,透气散热性优于传统防弹衣 $1^{\circ}\text{C}$ 左右。文章的研究意义在于为间隔织物大面积替换现有服用面料,特别是防弹衣面料,以改善其热舒适性能的可行性提供理论参考,为提高警察和军队的作战能力做出贡献。

**关键词:**防弹衣;间隔织物;热舒适性能;红外热成像法;警用面料

## 1 前言

防刺个体装甲要求能够保护人体免受刺刀、匕首等尖锐物体的伤害,同时要求保证穿戴者的活动不受太大限制。半硬质和硬质防刺服虽然防穿透性能优异,但其重量和刚性对使用者的活动和穿着舒适性有较大的限制和影响。柔性防刺服柔韧性好,基本上可以日常穿着,而且隐蔽性较好,是最近几年的研究重点。<sup>[1]</sup>所以寻找出一种既能增加防刺性能又对穿着舒适影响最小的面料,需在面料的防刺性能、重量、厚度、柔软度等方面进行改善设计。经编间隔织物具有吸湿排汗、质量轻的特点,本文将其应用于防弹衣上,探讨其对服装舒适性能的改良情况。<sup>[2-4]</sup>

## 2 实验部分

### 2.1 原材料及仪器与设备

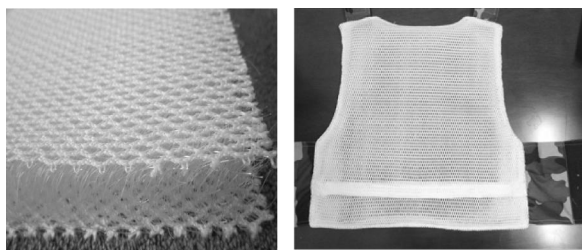
经编间隔织物(由常州大发经编面料有限

公司提供)、MDK-W型红外热成像系统(由武汉迈迪克光电有限公司提供)。

### 2.2 实验方法及原理

#### 2.2.1 试样制作流程

将传统防弹衣的里料用经编间隔织物进行替换,如图1所示。改良前的防弹衣重 $2.29\text{kg}$ ,采用平纹机织布作为里料。改良后的防弹衣重 $2.16\text{kg}$ ,采用间隔织物作为里料。



(a) 经编间隔织物示意图<sup>[4]</sup>

(b) 改良后防弹衣

图1:利用经编间隔织物作为里料改良后的防弹衣

#### 2.2.2 实验安排及原理

采用红外线热成像仪来测量人体在运动

**基金项目:**2012年地方高校国家级大学生创新创业训练计划(201210459007)

**作者简介:**龚小舟,博士,武汉纺织大学纺织科学与工程学院副教授;李保军,武汉纺织大学纺织科学与工程学院本科生;郭依伦,武汉纺织大学外经贸学院本科生

前后的温度变化。从物理学原理分析红外热成像原理,人体是一个自然的生物红外辐射源,能够不断向周围发射和吸收红外辐射。正常人体的温度分布具有一定的稳定性和特征性,机体各部位温度不同,形成了不同的热场。当人体某处发生疾病或功能改变时,该处血流量会相应发生变化,导致人体局部温度改变,表现为温度偏高或偏低。<sup>[5]</sup>根据这一原理,通过热成像系统采集人体红外辐射,并转换为数字信号,形成伪色彩热图,利用专用分析软件,对热图进行分析,测量所需位置的温度。具体实验安排如下:

(1) 静态下,测试 a, b, c, d 四位模特(三男一女)穿着 T 恤时前胸、后背的温度,三位男模特裸露上身时前胸、后背的温度,四位模特穿着旧防弹衣时的衣服表面前胸、后背的温度;

(2) 四位模特穿上旧防弹衣以恒定速度运动 10min 后,测试穿着防弹衣前胸、后背的温度,脱下防弹衣时前胸、后背的温度;

(3) 四位模特穿上旧防弹衣再跑 10min 后(即跑 20min 后),测试四位模特穿着防弹衣、脱下防弹衣、三位男模特脱下 T 恤后的前胸、后背的温度;

(4) 静态下,四位模特穿上改良后的防弹衣时前胸、后背的温度;

(5) 四位模特穿上新防弹衣以恒定速度运动 10min 后,测试穿着新防弹衣前胸、后背的温度,脱下新防弹衣时前胸、后背的温度;

(6) 四位模特穿上新防弹衣再跑 10min 后(即跑 20min 后),测试穿着防弹衣,脱下防弹衣,三位男模特脱下 T 恤后的前胸、后背的温度。

本实验主要分为三部分,分别测试人体在静态、中等运动、剧烈运动下身体的热分布。共测试四组平行试验(三男一女),四位模特都穿

着材料性能接近的 T 恤。编号分别为 a, b, c, d。通过对比每组人员在穿着新、旧防弹衣运动后身体的温度变化过程,并得出相应结论,本实验在室内温度 24℃ 的情况下测试。

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 热图像的测得

人体在运动后,心脏、胃部和后背温度变化最大,所以笔者主要测试人体在运动前后整个前胸、后背的温度,共得 104 张图片,通过对比分析来探究舒适性是否得到改善。

以图 2(a)为例,温度在人体及衣物上的非线性分布由色彩逼真地表现了出来,最低温至最高温依次为黑、灰、紫、靛、蓝、绿、黄、橙、红、白。

在图 2(b)中可以看出,运动后人体散发热量并排出大量水蒸气,穿着未改良的防弹衣时,防弹衣前胸插板中的泡沫材料不易将体内散发出的

水蒸气适时传导至外界,因此图 2(b)中的色彩以蓝色为主(即防弹衣的表面温度较低,体内热量未及时散发),这会造成被防弹衣所覆盖的身体部位闷热、不透气,降低了人体舒适性。而穿着改良后的防弹衣在运动后,采用间隔织物作为防弹衣里料,由于间隔织物具有极好的微气候效应,有助于热湿的传导。对比图 2(c)可看出,人体在穿上新防弹衣运动后的防弹衣的表面温度要比穿旧防弹衣的温度高很多,这



(a) 静止时穿 T 恤



(b) 着改良前防弹衣运动 20 分钟



(c) 着改良后防弹衣运动 20 分钟

图 2: 红外热成像图

说明人体着改良后的防弹衣在动态下,热湿传导性、透气散热性优于改良前的防弹衣,人体穿着更舒适。

### 3.2 讨论与分析

从表1可看出,人体在静止时穿着防弹衣的前胸温度比未穿防弹衣时普遍高3℃左右,这是由于身体被防弹衣包覆时,体内热气不易散发至外界,人体易感不舒适。分析静态时人体穿着改良前后防弹衣的衣物表面温度如图3(a)所示,可以看出无论哪一位模特、穿着改良前后的防弹衣时的温度差异小于0.3℃,这说明静态下,穿着改良后防弹衣和改良前防弹衣的舒适性无显著差异。

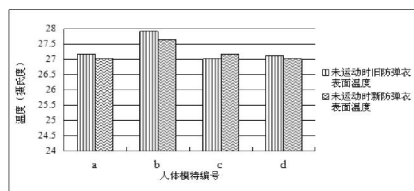
从表1和图3(b)可看出,穿着改良前和改良后的防弹衣,温差有所差异。尤其是肩部,胸部这两个被防弹衣包覆最紧的地方,热量不易向外界传导。在模特运动10分钟后,除模特b穿着改良后的防弹衣比穿着改良前的防弹衣前胸降温效果差外(低0.14℃),其余模特穿着改良后的防弹衣都效果较好,新防弹衣可以散发出更多的热量,使得人体温度降低0.14-0.65℃,这说明改良后的防弹衣对轻度运动的人体舒适性改

善有所提高。

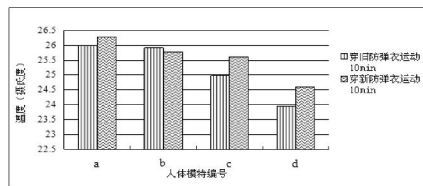
从表1和图3(c)可以进一步看出,当人体再继续运动10分钟后,改良后的防弹衣表面温度比原防弹衣均高,最大可达

0.87℃,平均高出(0.11+0.76+0.87+0.40)/4=0.54℃,这

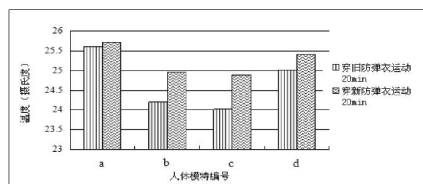
说明剧烈运动时,着改良后的防弹衣比改良前更舒适。另外从模特们的主观评价来看,普遍的反映是着改良后的防弹衣在运动过程中会在衣物的内侧形成流动空气,类似于风扇的作用,将人体散发的热量



(a) 静止时防弹衣表面温度



(b) 运动10分钟后,防弹衣表面温度



(c) 运动20分钟后,防弹衣表面温度

图3: 运动前后新旧防弹衣表面温度对比

表1: a, b, c, d 模特穿防弹衣运动前后的前胸温度(°C)

前胸温度/°C	静态下的裸体温度	穿着T恤	未运动时旧/新防弹衣表面温度	穿旧防弹衣运动10mi n/20mi n	穿新防弹衣运动10mi n/20mi n
a(男)	31.41	25	27.16/27.03	26/25.6	26.28/25.71
b(男)	32.95	24.62	27.93/27.64	25.92/24.20	25.78/24.96
c(男)	31.68	24.67	27.02/27.18	24.98/24.02	25.62/24.89
d(女)	/	23.21	27.12/27.02	23.96/25.01	24.61/25.41

表2: a, b, c, d 模特穿防弹衣运动前后的后背温度(°C)

前胸温度/°C	未运动时旧/新防弹衣表面温度	穿旧防弹衣运动10mi n/20mi n	穿新防弹衣运动10mi n/20mi n	新旧防弹衣表面温差(10mi n)	新旧防弹衣表面温差(20mi n)
a(男)	25.46/26.67	26.97/27.21	27.31/29.22	0.34	2.01
b(男)	25.35/25.60	26.15/24.54	26.42/26.68	0.27	2.14
c(男)	23.14/25.54	24.71/25.08	24.92/25.70	0.21	0.62
d(女)	25.60/25.54	24.84/26.13	24.50/26.56	-0.34	0.43

用,将人体散发的热量带走,但着原防弹衣运动却非常闷热,人体散发的热量无处散发。

在分析模特穿着防弹衣时后背的温度,从表2可以看出:在运动10分钟后,男模特们(a, b, c)着改良后防弹衣的服装表面温度比改良前防弹衣高出0.21-0.34℃,但女模特(d)却反而低了0.34℃. 究其原因可

能是由于防弹衣的大小松紧适合 a, b, c 三位男模特, 所以运动后的温度明显变高, 而 d 模特(女生)穿着这件防弹衣大小不合身, 所以身体热量在轻度运动后还不能及时被衣物带走, 因此衣服表面温度未能及时升高。从以上数据也可以看出, 在人体做过轻量运动后, 着改良前后防弹衣的后背的温度差别其实并不明显。但运动 20 分钟后(即剧烈运动后), 改良后防弹衣的降温效果就非常明显了, 从表 2 可以看出, 着改良后的防弹衣模特们的后背温度比原防弹衣平均高出了 1.3℃。这也归咎与在防弹衣设计时由于人体后背的曲线平坦, 可以较好与衣服内侧贴合, 散热面积比前胸增加, 因此后背的热量更多地通过改良后防弹衣的网孔作用散发到外界, 有效降低了人体温度, 改善了防弹衣的穿着舒适性能。

综合结果表明, 防弹衣的设计和大小影响着防弹衣的散热效果。防弹衣的大小松紧适合 a, b, c 三位男模特, 所以运动后的衣物表面温度明显变高, 而 d 模特穿着这件防弹衣大小不合身, 所以平均温度无论前胸还是后背都略低。另外新防弹衣衣内微气候好, 热湿传导性好, 在运动量大的情况下, 着改良后的防弹衣比着改良前的防弹衣更舒适。

#### 4 结论及展望

通过对防弹衣进行改善设计, 目的是对利用间隔织物进行改良后的防弹衣进行舒适性评价。通过和武汉迈迪克光电有限责任公司合作, 利用 MDK-W 型红外监控系统对受试者拍摄热图像, 共拍得 104 张热图像, 通过对这些图像的分析, 数据显示改良后的防弹衣相对原本防弹衣的改善表现为: 当运动同等条件下, 可以看出着改良后的防弹衣比改良前的防弹衣有效地降低了人体温度(前胸: 0.54℃/ 后背:

1.3℃), 这一实验数据为以后深入研究这个方向的专家、学者们奠定理论基础。

针对本次试验情况, 为方便后续深入研究, 特提出以下建议和展望:

(1) 使模特在恒温恒湿的密闭条件下运动, 以恒定速率在跑步机上运动, 更能消除环境因素对测试结果的影响。

(2) 有限次的实验未必能充分说明问题, 应建立在大量数据的基础上, 得出相应结论。

(3) 间隔织物是有三部分组成的, 如果贴近皮肤的那一层用吸湿性比较好的纤维来编织(如: 棉、麻等), 则双防服的防刺舒适性会有很大的提高<sup>[1][6]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 赵玉梅. 柔性复合防刺服的研究[D]. 上海: 东华大学, 2006.
- [2] Eva Kunz, Xi aogang Chen. Analysis of 3D woven structure as a device for improving thermal comfort of ballistic vests[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2005, 17(3-4): 215-224
- [3] 百度文库. 经编间隔织物介绍[DB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/7fe1d75c312b3169a451a43e.html>.
- [4] 常熟市大发经编织造有限公司. 常熟市大发经编织造有限公司官网[EB/OL]. <http://www.dafamesh.com.cn/>.
- [5] 百度百科. 红外热成像介绍[DB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/3396538.htm>.
- [6] 黄世鑫, 李贵琪, 戴旭志. 不同吸湿排汗效果之外衬对防护服舒适性之研究[J]. 华网纺织期刊, 2005(4): 383-391.

(收稿日期: 2013 年 7 月 13 日)