

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.01.020

防弹衣用新型充气防护散热片制备及性能

李金鹿, 魏汝斌, 张文婷, 董彬

(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要:介绍了一种防弹衣用新型充气防护散热片,从外观设计、防护散热片面料选择、云母冰凉纤维的制备原理等方面简述了充气防护结构的设计方法,并对该散热片结构进行了红外热成像验证和实际穿戴效果验证。研究结果表明,该结构作为防弹衣缓冲层有利于改善防弹衣载体人体工学负载均匀分布、减轻疲劳、增加耐力,提高穿着舒适度,并能够持续性为防弹衣散热,同时该散热片可以增大人体和防弹衣的接触距离,降低了防弹衣受到弹击时对人体的损伤程度,提高了穿着安全性。

关键词: 充气防护结构; 散热; 防弹衣; 舒适性; 人体防护

中图分类号: TB322 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)01-0100-04

Preparation and Properties of New Inflatable Protective Heat Sink for Bulletproof Vest

Li Jinlu, Wei Rubin, Zhang Wenting, Dong Bin

(Institute 53, China North Industries Group Corporation, Jinan 250031, China)

Abstract : A new type of inflatable protective heat sink for bulletproof vest was introduced. The design method of the inflatable protective structure was briefly described from the aspects of appearance design, selection of protective heat sink fabric, and mica cooling fiber preparation principles. The protective effect of the heat sink structure was verified by infrared thermal imaging and actual wearing. The results show that the structure as a buffer layer of the bulletproof clothing is beneficial to improve the uniform distribution of the ergonomic load of the bulletproof clothing carrier, reduce fatigue, increase endurance, improve wearing comfort, and can continuously dissipate heat for the bulletproof clothing. Simultaneously, the heat sink can increase the contact distance between body and body armor, the utility model reduces the injury degree to the human body when the bullet hits the bullet-proof vest, and improves the wearing safety.

Keywords : gas-filled protective structure ; cooling ; body armor ; comfort ; human protection

现代化战争中,高速高能枪弹、各种爆炸物爆炸后产生的弹片、冲击波对防弹衣的防弹性能有了更高的要求^[1]。战士在各种恶劣地形和残酷气候环境下执行军事任务,要求防弹衣在不降低防弹性能的前提下,穿着舒适轻便,并能维持基本的“人→衣”热湿交换,持续散热,避免防弹衣内表面因湿气积蓄或者高热囤积而造成闷热潮湿。此外,还要考虑防弹衣新型结构配件的适配性,兼容性和便捷性。

当前世界上防弹衣缓冲层的设计变化很快,有人曾在硬质防弹衣背面垫数层芳纶织物作为缓冲层,还有人用泡沫塑料片、芳纶针织布、尼龙织物等制作缓冲层^[2]。这些材料各有特点,但也限制了部

分功能。笔者主要就防弹衣夹层位置缓冲层^[3]进行了材料制备及结构设计。

1 充气防护散热片的设计

1.1 技术要求

①结构上能够快速消耗缓释子弹高速冲击抗弹层所剩余的动能,增加防弹层与人体的接触距离,通过大面积充气囊减少背凸产生的局部压强,降低背凸对人体的挤压,能够提高穿着舒适感。

②材料外观设计简洁大方,材料本身要求质地柔软,透气,安装便捷,穿着舒适,耐水洗,耐磨,重量轻,尺寸可调,可充放气,价格低廉,具备浮水救生功能,保证持续性散热。

通讯作者: 李金鹿,高级工程师,主要从事复合材料研究及检测工作 E-mail : xiaolu-12345@163.com

收稿日期: 2019-11-06

引用格式: 李金鹿,魏汝斌,张文婷,等. 防弹衣用新型充气防护散热片制备及性能[J]. 工程塑料应用,2020,48(1):100-103.

Li Jinlu, Wei Rubin, Zhang Wenting, et al. Preparation and properties of new inflatable protective heat sink for bulletproof vest[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(1):100-103.

1.2 外观设计

图1为散热片正面。外观尺寸面积要求为 0.15 m^2 ,尺寸略小于防弹插板最小号。同时,安装便捷,可以用魔术贴,拆卸方便。



图1 散热片正面

如图1所示,整个散热片外观设计与防弹插板设计外形相似,设计面积接近人体重要器官防护面积,可前后片同时携带。同时还可以根据使用要求,制成不同大小型号。

1.3 防护散热片面料选择

防护散热片面料在选择过程中以凉爽型纤维及织物为主,需具备以下特征:吸汗排湿、快干易洗的舒适性。织物轻薄、高档、手感干爽,在夏季高温热湿环境下具有瞬间接触凉爽感^[4]。

总后军需装备研究所提出在人体出汗情况下织物热湿传递性能的评价指标,为织物的热湿传递性能提供了全面评价依据^[5]。通过吸湿速干纤维材料达到织物的功能性,市场上性价比高的常规纤维材料有Coolmax、锦纶等^[6]。性能好的高端面料主要有美国杜邦公司生产的Coolmax纤维^[7],日本旭化成公司的聚氨酯纤维^[6],具有吸湿、放湿、导湿性能的国产凉感型竹纤维^[9]。云母冰凉纤维是一种新型的降温散热纤维^[10]。云母的吸水性好,因此云母冰凉纤维具有降温的作用,且导热性能优异。

防护散热片正穿面料以选择性价比高的凉感面料为主。笔者选择纯棉面料、锦纶针织面料和Coolmax面料三种面料与规格为77 dtex/48f的云母冰凉纤维针织布,按照美国标准ASTM D7024-2004进行实验对比,热流变化量 200 W/m^2 ,环境温度 28°C ^[8]。通过对铜人体的温度采集,对比不同面料产生的温度差异,实验结果见表1。

表1 云母冰凉纤维面料与其他面料进行铜人体温度测试对比结果

性能	锦纶针织	棉面料	Coolmax 面料	云母冰凉纤维
平均温度/ $^\circ\text{C}$	32.8	32.05	31.64	31.00

由表1可知,云母冰凉纤维平均温度 31°C ,是四种材料中测试温度相对较低材料。云母冰凉纤维是一种化学性能较稳定的新型降温散热纤维,热传导率为 $0.15\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,云母冰凉纤维自身的层叠状结构决定了其良好的导热性能,导热性远胜于锦纶、涤纶等纤维,利用该特性持续散发热量。采用KESKES-F7型织物风格仪,对规格为77 dtex/48f的云母冰凉纤维针织布表面温感测试,得到冷温感数据仅为 0.14 W/m^2 。由于云母在纤维织物或纱线中的排列是同向性的,因此边缘部分的热传导影响最为显著,这也是云母冰凉纤维的导热性能优异的一个重要原因。

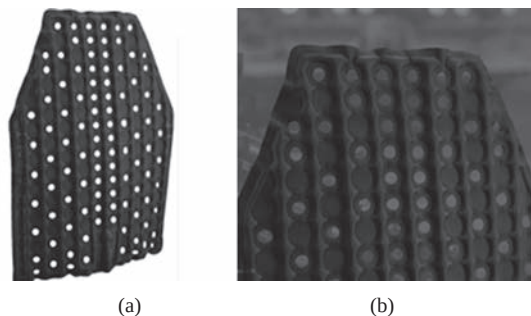
云母冰凉纤维吸水性好,因此云母冰凉纤维具有降温的作用,可使人体感到瞬间接触凉感。水合在物理化学中,它表示水分子对被溶解物质的强烈亲合力,这种亲合力是物质发生电离的基本原因之一^[11-12]。云母表面带电荷,脱层后的云母水合性强,易形成一层水化膜,且需在 500°C 以上才可将水脱离^[9],因此云母含水率高,吸水性强。

1.4 云母冰凉纤维的制备

将4%云母母粒和96%锦纶6切片干燥^[14],按照设计比例,逐渐添加云母母粒,并与锦纶6切片混合熔融。将熔融状态下的纤维高聚熔体从喷丝孔部位缓慢压出,在周围空气中冷凝成丝状。在这个过程中,温度要求保持稳定不变、且恒压、恒湿,纤维制备温度要求在 $255\sim 258^\circ\text{C}$ 。

1.5 散热结构设计

该结构是一种模块化的、多功能的气动装置,用于改进被动通风性能、堆叠效应、对流气流、载荷分配及浮水救生等功能。通过这个系统集成成一个防弹衣载体。该结构使用射频焊接制造,利用手动加压装置创建气密气动系统。其特点是由位于装置底部中心的充气阀发出的单个垂直方向的蛇形气腔结构,气动系统是手动加压的,通过位于装置中心底部的充气阀完成。气室的最大充气厚度为12 mm,并与垂直方向的、不充气的表面区域相连,其中包含一系列通风孔,通风孔不被气室包围,最小直径为7 mm,从而形成膨胀的蛇形空气室模式和非膨胀的通风表面。防弹衣新型充气防护结构如图2所示。



a—充气结构图; b—局部孔位图

图2 散热片充气结构及局部孔位图

如图2a,散热片质地柔软,可以配套单曲和多曲防弹插板,放大图2a可以清晰看到(见图2b),为了更好地透气散热,在整个散热片面板预留了孔位,这一设计还有利于魔术贴与防弹衣之间的粘结牢固性。

整个结构由四个部分组成,分别是正穿面、气室、背装面和充气阀室。根据尺寸不同,防弹衣新型充气防护结构整体由于尺寸不同,质量范围在0.04~0.085 kg。

(1) 正穿面采用云母冰凉纤维凉感面料,该面料具备将体表热量迅速扩散,加速汗水蒸发排解与降低体表温感的功能,还可以长时间保持织物与体表接触的凉爽与舒适,在运动中能够吸收表面的水份与汗水,有效控制缓慢蒸发水分驱散热量,可以降低温度让人体皮肤温度维持在最适宜的状态。

(2) 气室采用热可塑性聚氨酯密封,它不仅拥有高张力、高拉力、强韧和耐老化的特性,而且是成熟的环保材料。

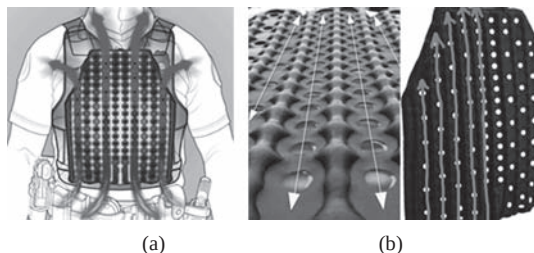
(3) 背穿面采用UBL织物,柔软舒适,有利于与魔术贴固定。

(4) 充气阀室具备充气 and 排气功能,根据个人舒适度需求自由调节充气量,一次充气量可持续使用15天。

2 红外热成像验证

根据周围的环境条件,防弹衣穿戴者会出汗来调节身体核心温度。图3为散热片热量传导及散热片热量传导通道示意图。如图3a所示,这种排汗结合对流气流,增加了从液体到水蒸气状态的变化。如图3b所示,充气防护结构利用烟囱效应的对流效应使热空气从防弹衣顶部逸出,冷空气从防弹衣底部替代,充气气室则为空气流动提供通道。通过热成像可以观察到,即使在热量离开充气防护结构后,从结构顶部逸出的空气对穿戴者的身体也有显著的

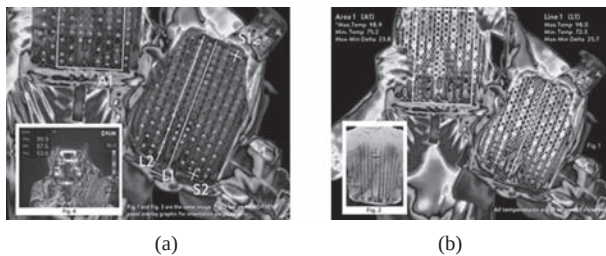
冷却作用。充气防护结构具有垂直方向的充气气室,可以显著减少与防弹衣覆盖区域直接接触的表面积,从而显著减少防弹衣与皮肤之间的传热。人体热量的自然通风和人体与防弹衣之间的汗液蒸发,将人体产生的热量传导到充气防护结构空腔中,使人体热量散发出去。



a—热量传导示意图; b—热量传导通道示意图

图3 散热片热量传导及热量传导通道示意图

佩戴前红外热图成像观察图见图4所示。利用红外热成像检测观察到,即使在离开充气结构后,从顶部逸出的空气对穿戴者的身体也有显著的冷却作用,如图4a所示。产生汗水需要热源,而增加热量会降低相对湿度,并能更好地吸收汗水。蒸发热量越大,该材料的温度就越低。对流增加蒸发,以相对湿度较低的空气去饱和热空气,温差越大,则对流也越大。人体与装甲接触越少,导热系数就越低。人体自我调节体温的能力其实非常小,尽管体温会保持不变,但“舒适度”会显著提高。



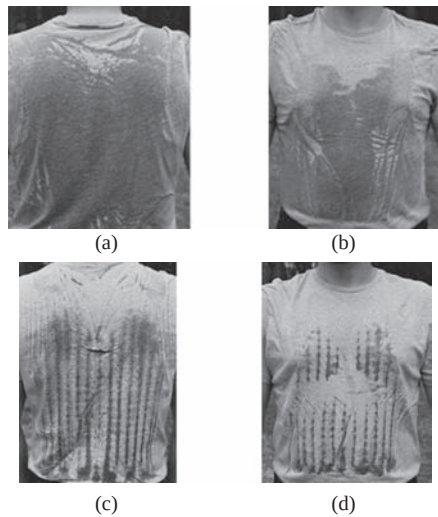
a—佩戴前; b—佩戴后

图4 佩戴前后红外热图成像观察图

3 实际穿戴效果验证

将载有充气防护结构的防弹衣和普通防弹衣通过穿戴者进行了测试,在室外温度约28℃左右,跑步3 km测试,效果如图所示,很明显看到穿戴者T恤的汗液分布情况。

图5是实验者未穿戴和穿戴防护散热片前后对比图。由图5a、图5b可以清晰看到,汗液浸透了体恤衫,身体热量及水分未完全排出,充满汗液的外套贴身,极为不舒适。图5c、图5d是实验者将散热片前后两片穿着后示意图。经过3 km跑步测试后,



a—未穿戴背面图;b—未穿戴正面图;
c—穿戴后背面图;d—穿戴后正面图

图4 实验者未穿戴和穿戴散热片背面及正面图

可以发现实验者的体恤衫相对干爽,除了散热片通道支撑点有汗液痕迹,大部分区域保持干爽。

4 结论

自制充气防护结构有利于改善防弹衣载体人体工学的负载均匀分布、减轻疲劳、减振、增加耐力、提高人体性能。该结构采用无缝加工成型,集薄、轻、灵活于一体,提高作战人员的日常舒适度和工作效率。充气防护结构具有垂直方向的充气气室,这一结构不但减少了人体与防弹衣覆盖区域直接接触的表面积,还增加了人体与防弹衣之间的接触距离,不但能起到良好的缓冲作用,还可以减少抗外伤深度,从而降低非贯穿性伤害。

参考文献

- [1] 徐斌,王成,臧立伟,等.爆炸冲击波与防弹衣相互作用的数值模拟[J].北京理工大学学报,2019,39(2):131-134.
Xu Bin, Wang Cheng, Zang Liwei, et al. Numerical simulation of the interaction between blast wave and body armor[J]. China Personal Protective Equipment, 2019, 39(2):131-134.
- [2] 林兰天,周静.减少防弹衣非贯穿性损伤的方法探讨[J].纺织学报,2004,25(6):87-89.
Lin Lantian, Zhou Jing. Discussion on methods to reduce non-penetrating damage of bulletproof clothing [J]. Journal of Textile Research, 2004, 25(6):87-89.
- [3] 乔咏梅,王希瑶,侯梅,等.软质防弹衣缓冲材料性能研究[J].中国个体防护装备,2016(5):36-38.
Qiao Yongmei, Wang Xiyao, Hou Mei, et al. Study on cushioning material properties of soft body armor[J]. China Personal Protective Equipment, 2016(5):36-38.
- [4] 秋庭英治,胡绍华,章悦庭. Sophista 纤维的凉爽功能[J].国外纺织技术,2001(6):41-42.

- Qiuting Yingzhi, Hu Shaohua, Zhang Yueting. Cooling function of Sophista fiber [J]. Foreign Textile Technology, 2001(6):41-42.
- [5] 沈艳琴,万明,本德萍.织物的热湿舒适性探讨[J].广西纺织科技,2001,30(3):47-49.
Shen Yanqin, Wan Ming, Ben Deping. Discussion on Thermal and Moisture Comfort of Fabrics [J]. Guangxi Textile Science and Technology, 2001, 30 (3):47-49.
- [6] 王欢,张富丽,李艳.吸湿速干面料性能测试评价[J].丝绸,2019,56(2):43-49.
Wang Huan, Zhang Fuli, Li Yan. Evaluation of the performance of moisture-absorbing and quick-drying fabrics[J]. Silk, 2019, 56 (2):43-49.
- [7] 邵强.凉爽纤维的制备及性能测试[D].天津:天津工业大学,2008.
Shao Qiang. Preparation and performance test of cool fiber [D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2008.
- [8] 徐晓辰.吸湿排汗聚酯纤维的开发及应用[J].合成纤维,2002,31(6):9-12.
Xu Xiaochen. Development and application of moisture-wicking polyester fiber [J]. Synthetic Fibers, 2002, 31(6):9-12.
- [9] 孙艳霞,张巍然.竹纤维产品开发探讨[J].上海毛麻科技,2003(3):38-92.
Sun Yanxia, Zhang Weiran. Discussion on the development of bamboo fiber products [J]. Shanghai Maoma Science & Technology, 2003(3):38-92.
- [10] 魏洋.新型降温散热纤维—云母冰凉纤维[J].聚酯工业,2011,24(6):9-11.
Wei Yang. A new type of cooling and cooling fiber-mica cooling fiber [J]. Polyester Industry, 2011, 24 (6):9-11.
- [11] 环境科学大辞典编辑委员会.环境科学大辞典[M].北京:中国环境科学出版社,1991: 616.
Editorial committee of environmental science dictionary. Environmental science dictionary[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1991: 616.
- [12] 薛建萍,陈红玲.新型冰凉纤维纺织品的开发[J].山东纺织科技,2016,57(3):27-29.
Xue Jianping, Chen Hongling. Development of new cooling fiber textiles[J]. Shandong Textile Science and Technology, 2016, 57 (3):27-29.
- [13] 董立,陈仁义.竹炭纤维性能及其应用研究[J].天津纺织科技,2008(1):33-36.
Dong Li, Chen Renyi. Properties and application of bamboo charcoal fiber[J]. Tianjin Textile Science and Technology, 2008(1):33-36.
- [14] 张守运.细旦异形涤纶冰凉纤维生产工艺探讨[J].聚酯工业,2011,24(3):12-15.
Zhang Shouyun. Discussion on the production technology of fine denier shaped polyester cooling fiber [J]. Polyester Industry, 2011, 24(3):12-15.