

# 民用防刺服的研发现状

赵 琴<sup>1</sup>, 钱晓明<sup>2,\*</sup>, 邢京京<sup>2</sup>

(1.成都市产品质量监督检验院,四川 成都 610100;

2.天津工业大学 纺织学院,天津 300387)

**摘要:**介绍了防刺服的种类,详述了其防刺机理、影响防刺性能的因素、常用测试方法,以及防刺服用材料、组织结构和服装结构;同时认为通过合理复合以提高防刺服的整体防刺性和舒适性是未来研究方向之一,改善服装结构和材质提高舒适性是另一个发展方向。

**关键词:**防刺服;防刺机理;结构性能;展望

**中图分类号:**TS941.7

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-0356(2016)12-0010-04

防刺服是指能有效地防护匕首等常见锐器从各种刺入角度对人体的攻击,从而减少人体防护部位受到刺伤威胁的一种服装<sup>[1]</sup>。对防刺服的研究最早可追溯到史前时期的皮革编织甲冑,19世纪南太平洋海岛土人的藤甲,到后来中国战国时期的金属片盔甲和金属丝锁子甲,以及到现在采用超高强纤维织造的柔软舒适的防刺防弹服。防刺服几百年的发展都是围绕着两个问题,一是如何提高防刺性;二是在满足防刺要求前提下如何提高服装的穿着舒适性。本文围绕这两个主题对近年来相关的研究开发现状作一综合介绍。

## 1 防刺服的种类

防刺服按其用途可分为警用防刺服、军用防刺服和民用防刺服3类。警用和军用防刺服除可抵御刀刺以外,一般还兼具防弹功能,对防护性能要求相对较高;因此一般内嵌钢板或金属网,不但厚重且舒适性差,通常用于外穿。民用防刺服一般为内穿服装,需要较好的隐蔽性和舒适性,常采用超强纤维织造而成。目前有关防刺服的研究多为警用和军用,近年来逐渐倾向于民用。例如,美国材料研究所研制了一款女性防刺防弹服<sup>[2]</sup>,贴合女性的胸部造型,满足乳房体积要求,更好地为女性提供了保护,并建议其测试方法纳入标准化。

防刺服按其材质可分为硬质防刺服、半硬半软质防刺服、柔性防刺服、液体防刺服4类。硬质防刺服是将金属材料整片切割或分割成片甲形状再排列组合加

工成护板<sup>[3-5]</sup>,外层包覆面料。硬质防刺服是最早的防刺服装,防刺性能好,但质量大刚性强,舒适性差。半硬半软质防刺服是以高强纤维和金属材料复合作为防护层<sup>[6]</sup>,有研究<sup>[7]</sup>指出厚度仅为2.5 mm的陶瓷片就完全可以承受住美国NIJ0115标准中所有能量级别的测试。重庆盾之王公司研制的半柔型防刺背心,是用多种新材料按特殊的复合新工艺制成,不但具有防刺功能,还能有效地阻挡一般爆炸物品及破片的侵袭;同时兼有防水、耐酸碱、防紫外线等功能<sup>[8]</sup>。半硬质半软质防刺服是目前应用最广的防刺服,但其质量大加工工艺复杂,舒适性也有待提高。

柔性防刺服是目前研究最多的一类,是用高性能化学纤维织造的高支高密织物或非织造材料,具有轻质柔韧,舒适性高的优点。上世纪80年代美国杜邦公司、Criminology国际公司<sup>[9]</sup>先后研发了Kevlar轻型防刺背心。我国北京同益中特种纤维有限公司、北京君安泰防护科技有限公司及香港理工大学、东华大学、江南大学、天津工业大学等企业和高校一直致力于柔性防刺材料的研发工作,例如,采用多轴向经编组织或通过覆膜、树脂成型、硬质粒子涂层等方法提高材料的防刺性<sup>[10-12]</sup>。民用防刺服基本上都是软质防刺服,但在符合我国公安部《GA68防刺服》防刺性能的要求下,其织物厚度最薄也15 mm,若选其作为民用防刺服标准,其隐蔽性仍达不到要求。

液体防刺服是目前国外研究最多的产品,其本质是将剪切增稠液(STF)渗入织物中<sup>[13]</sup>。在通常状态下剪切增稠液以液体形式存在,当受到刀或子弹的高速冲击时迅速变成坚硬的固体状,能使织物变得非常坚韧。当冲击力消失后剪切增稠液又恢复至液体状态,服装也重新变软,因此穿着舒适。

收稿日期:2016-09-14;修回日期:2016-11-07

作者简介:赵 琴(1963-),女,高级工程师,主要研究方向为纺织品质量检验,E-mail:2086217640@qq.com。

\* 通信作者:钱晓明(1964-),男,教授,E-mail:qxm@tjpu.edu.cn。

研究结果显示,浸渍 STF 的织物防刺性能可提高 5%左右,防弹性能可提高 10%左右<sup>[14]</sup>。剪切增稠液发挥作用需要一个瞬时高速冲击,对于低速的穿刺或刀割伤害作用不大,且浸渍 STF 会增加防刺层的质量,服装的热湿舒适性也会降低,不适用于民用防刺服。

目前有关防刺服的研究主要集中在如何提高防刺性能上,例如,通过高支高密织造、剪切增稠液浸渍、陶瓷片复合、涂层等手段,来进一步增强防刺织物的防刺性能。不同的处理方法其特点也有所不同。衬垫金属片、钢丝圈类和陶瓷片复合防穿透性能优异,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。采用高支高密织造的防刺服具有轻质柔韧等优点,但对于纱线细度要求高,过细过粗都不利于防刺。涂层和层压方法能够在保证不增重的情况下提高织物的防刺性,但织物的透气性和透湿性却大大降低,不适合于内穿防刺服。STF 浸渍只对高速冲刺有效,且增加了防刺服的重量和生产成本。

## 2 防刺机理

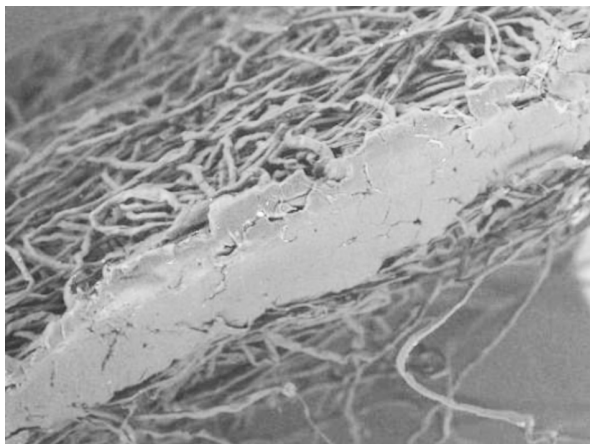
防刺服的防刺机理与防弹机理不同,弹道破坏主要是冲击能量对人体器官的损伤,刺破主要是刀具冲破服装刺伤人体皮肤或器官。最早探究防刺机理的是 Cazzuffi 等<sup>[15]</sup>根据土工布穿刺过程中的形变,指出刺破是拉伸性能失效的结果;Murphy 等<sup>[16]</sup>通过测试各种土工合成材料的击穿强度,通过计算获得应力应变曲线;Termoni<sup>[17]</sup>建立了尖头型刺锥刺破织物的数值模型,探讨了防刺破的各种因素,并将刺破载荷特征与特定织物刺破机理联系起来。

还有学者利用有限元法模拟刀具穿透织物的过程,指出穿刺过程主要分为织物拉伸、纱线滑移、纱线断裂和拉出四个阶段<sup>[18-20]</sup>,分析刀具的位移与受力关系,并预测出刀具的穿透深度。Alvaro 等<sup>[21]</sup>结合弹性体膜被尖锐刀片切割的机制表征,指出裂纹扩展传播是由材料的黏弹性和材料的断裂行为,以及尖头刀和材料之间的摩擦来控制的。

以上研究都基于机织物或针织物,较容易模拟织物的结构,而对于杂乱无序的非织造材料的防穿刺机理,目前还无人涉及。另外,对于防刺机理的研究多是从受力角度来分析,然而刺入过程中仍有热量产生且不可忽略。如图 1 所示,在超高分子量聚乙烯纤维非织造材料的刺破断面,就出现了熔融现象。

## 3 影响防刺性能的因素及评价方法

在防刺性能研究中,通常认为纤维的力学性能越好防刺性就越好。有关织物防刺性与拉伸、撕裂和顶破的关系,目前已有学者进行了探究。寿钱英<sup>[22]</sup>选用涤纶纱线织造了几种不同组织的纬编针织物,并对其抗撕裂、顶破和穿刺性能进行了探究,得出纬编针织物的防刺性与其组织结构等多种因素有关,不能用单缝法撕裂强度和顶破强度表征纬编针织物的准静态抗穿刺性能。由于实验选用的涤纶纱线其强力远低于常用的芳纶和超高分子聚乙烯纤维,其结论的代表性仍有待探究。有部分学者认为刺破与顶破有一定的相关性,尤其对于一些刺锥类刺具<sup>[23]</sup>。织物被刺破之前所受的力类似于顶破的多向受力,通过对织物进行涂层或增加织物密度来提高织物的防刺性都是源于此<sup>[24]</sup>。



TM-1000 D2.1 ×100 1mm

图 1 超高分子量聚乙烯短纤非织造材料刺破断面电镜图

织物的刺破主要是指尖锐物体在一定外力作用下与织物接触时,超出织物所能承受的最大载荷而使织物破坏的现象。研究发现织物的抗刺性能与织物的组织结构有关,组织结构不同,其防刺性能就不同<sup>[25]</sup>。刀具种类和织物层数也直接影响到织物的抗穿刺性能,不同的刀具截面会对穿刺效果有很大影响<sup>[26]</sup>;在穿刺过程中织物的层数越多,每一层都能较合理地分担一部分负荷,能够达到较好的防刺效果<sup>[27]</sup>;但随着织物层数的增加,服装会变得厚重影响其舒适性。

另外,刀具的形状也对织物的防刺性有较大影响。常见的刀具有单刃刀、双刃刀、三棱刀、锥子。单刃刀刺破织物时刀口呈“T”字型,对织物既有剪切作用又有排挤作用;双刃刀刀口呈“一”字型,三棱刀刀口呈“Y”

型<sup>[28-29]</sup>,这两种刀具对织物的作用主要是剪切作用;锥子类刺具对织物的主要作用是顶破和排挤。相同纤维材料的无纺布对锥和单刃刀的防护效果要好于平纹布,对三棱刀的防护效果与平纹布接近<sup>[30]</sup>。

目前评价防刺性能好坏的指标有两个,一个是静态穿刺力,另一个是动态防刺性。前者通常是用万能强力仪记录刀具以定速穿透织物过程中力的变化;后者是根据 GA68—2008 标准或其他织物防刺性测试标准模拟实际情况,测试刀具以一定动能刺向织物时,织物被刺破的层数或程度。相比较而言,动态防刺测试更能体现织物的防刺性,但测试较为麻烦,且一般用于测试服装整体的防刺性。对于材料防刺性的测试,一直希望有一个更加量化、简单且准确的测试标准或方法。对此,公安部特种警用装备质量监督检验中心对国内外防刺服关键技术指标,如产品分级、测试刀具种类、测试方案、合格判据等方面,进行了对比分析,并为 GA-68 标准的修订提供了建设性建议<sup>[31]</sup>。

#### 4 防刺材料的组织结构及服装结构

为了适应各种防护要求,研究人员研制开发了不同的织物形式用于防刺纺织品,从传统的机织物、针织物、无纺单向布(UD)、非织造布到近年来开发的针织经编多轴向织物、间隔织物及纬编轴向织物<sup>[32]</sup>等,可根据不同的防护要求选择不同组织结构的织物形式。由于针织物结构良好的成型性、极好的能量吸收性和抗冲击疲劳性能,使其在产业用纺织品尤其是人体防护装甲材料中越来越受到重视。另外,通过测试可知在机织布和无纺布试样中,前者的抗拉伸性能要高于抗剪切性能,而后的抗剪切性能要高于抗拉伸性能<sup>[33]</sup>。

目前有关民用防刺服结构的专业研究基本没有,其原因一方面是现在的防刺服多为警用、军用且外穿,结构形式以背心为主,结构简单,穿脱方便,如图 2 所示。另一方面受防刺材料的厚度限制,防刺服的结构不宜太复杂。

民用防刺服为普通人日常穿着或出席特殊场合时穿着,需要具有较好的隐蔽性和舒适性;因此在保证具有一定防刺性基础上,应对其结构进行优化,使之更加舒适合体。现在市场上有一种商务防刺马甲(见图 3),其款式结构类似于普通西服马甲,内芯为用超高强纤维织造的防刺层,可搭配西服穿着。民用防刺服同其他防护类服装一样,首先要满足其防护性要求,其次要更加舒适,且成本不应太高,以便获得普遍使用。



图 2 警用防刺背心款式图



图 3 商务防刺马甲款式图

#### 5 结语

民用防刺服装是一种特殊的服装类别,在满足防刺功能前提下更应强调着装的舒适性与运动机能性。未来还需结合不同防刺材料的特性及不同身体部位的要求,对防刺服进行结构优化设计以提高民用防刺服的舒适性和隐蔽性。对于防刺层的设计可结合不同组织结构的特点,将针织物与机织物或非织造布进行复合以提高整体上的防刺性。

选用密度较小的超高分子聚乙烯纤维可减轻服装重量,同时在超强纤维中混入吸湿性较好的黏胶纤维既可减轻加工过程中的静电现象,也可增加服装的吸湿性,提高穿着舒适性并降低生产成本,使其像其他防护服一样能为大众所接受。

#### 参考文献:

- [1] GA68—2008,警用防刺服[S].
- [2] Amanda L Forster, Kirk D Rice, Michael A Riley. Specifying and testing idealized bust surrogates for testing of female stab-resistant body armor[J]. Textile Research Journal, 2015,85(20):2 108—2 124.
- [3] 张向辉,王云仪,李俊.防护服装结构设计对着装舒适性的影响[J].纺织学报,2009,30(6):139—144.
- [4] 于春玲,姜亚明,张新伟.防刺甲片的形状及搭接设计[J].纺织导报,2011,(1):77—80.

- [5] Deju Zhu, Lawrence Szewciw, Franck Vernerey, *et al.* Puncture resistance of the scaled skin from striped bass; collective mechanisms and inspiration for new flexible armor designs[J]. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2013, (24): 30–40.
- [6] 吴光玉, 陈邦伟. 防刺服装及其开发[J]. *合成纤维*, 2010, (5): 42–43.
- [7] 刘玉龙. 软体防刺复合材料设计与性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [8] 张月庆, 钱晓明. 个体防刺装甲的现状与发展[J]. *非织造布*, 2012, (2): 48–50.
- [9] M j Pettit, J Cr oft . Psdb stab resistance standard for body armour [S]. Police Scientific Development Branch Home Office Police Policy Directorate, 1999.
- [10] 孔祥勇. 柔性防刺经编间隔织物的结构与性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [11] 刘 娟, 王新厚. 树脂成型柔性防刺材料孔隙率对防刺性能的影响[J]. *产业用纺织品*, 2015, (5): 7–10.
- [12] Normala Hassim, Mohd Rozi Ahmad, Wan Yunus Wan Ahmad. Puncture resistance of natural rubber latex unidirectional coated fabrics[J]. *Industrial Textiles*, 2011, 42 (2): 118–131.
- [13] 俞科静, 沙晓菲, 曹海建, 等. 剪切增稠液/高性能纤维复合材料防刺性能的研究[J]. *玻璃钢/复合材料*, 2012, (6): 47–51.
- [14] Dorota Zielinska, Bogumila Delczyk-Olejniczak, Lukasz Wierzbicki. Investigation of the effect of para-aramid fabric impregnation with shear thickening fluid on quasi-static stab resistance [J]. *Textile Research Journal*, 2014, 84 (15): 1 569–1 577.
- [15] Cazzuffi D, Venesia S, Rinaldi M, *et al.* The mechanical-properties of geotextiles: Italian standard and interlaboratory test comparison[A]. *Proceedings of the 3rd International Conference on Geotextiles*[C]. 1986, 3: 879–884.
- [16] Murphy V P, Koerner R M. CBR strength (puncture) of geosynthetics [J]. *ASTM Geotechnical Testing Journal*, 1988, 11(3): 167–172.
- [17] Termonia Y. Puncture resistance of fabrics structures[J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2006, 32(9): 1 512–1 520.
- [18] 顾肇文. 柔性复合防刺服机理研究[J]. *纺织学报*, 2006, (8): 81–84.
- [19] 张天阳. 机织物防刺性能的有限元分析[D]. 上海: 东华大学, 2011.
- [20] 王永欣. 机织物刺破力学性能实验分析与有限元计算[D]. 上海: 东华大学, 2010.
- [21] Alvaro Ridruejo, Rafael Jubera, Carlos González, *et al.* Inverse notch sensitivity: cracks can make nonwoven fabrics stronger[J]. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2015, 77: 61–69.
- [22] 寿钱英. 纬编织物抗撕裂、顶破和穿刺性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2012.
- [23] 侯利民, 王盛楠. 柔性复合材料及其增强体顶破形态和机理的研究[J]. *纤维复合材料*, 2012, (3): 33–36.
- [24] Ting-Ting Li a, Rui Wanga, Ching-Wen Lou. Static and dynamic puncture behaviors of compound fabrics with recycled high-performance Kevlar fibers [J]. *Composites: Part B*, 2014, 59: 60–66.
- [25] 王永欣, 王 萍, 马 倩. 不同组织结构涤纶织物的刺破实验分析及破坏形态[J]. *纤维复合材料*, 2010, (2): 30–35.
- [26] K Kanchigovarthanam, C Anand, R Ajendran. Development and evaluation of slash-resistant garments[J]. *Journal of Industrial Textiles*, 2010, 40(2): 139–154.
- [27] 乔咏梅. 织物特性对防刺性能的影响[J]. *纤维复合材料*, 2005, (4): 10–12.
- [28] 陈小忠. 刺锯器刺破纺织物分析[J]. *刑事技术*, 2001, (4): 53.
- [29] Ian Horsfall, Celia Watson, Steve Champion. The effect of knife handle shape on stabbing performance [J]. *Applied Ergonomics*, 2005, 36: 505–511.
- [30] 杨中甲, 张左光, 孙志杰, 等. 高强度织物防穿刺作用特征与机制分析[J]. *玻璃钢/复合材料*, 2010, (1): 40–45.
- [31] 李 杨, 滕 飞, 周 鑫. 国内外防刺服关键技术指标探析 [J]. *警用装备*, 2015, (5): 75–77.
- [32] 郑俞蕾. 纬编柔性防刺层复合优化[D]. 上海: 东华大学, 2012.
- [33] 余 科. 防刺服用材料浅析[J]. *国外丝绸*, 2008, (6): 35–37.

## Research and Development Status of Stab-resistant Clothing

ZHAO Qin<sup>1</sup>, QIAN Xiao-ming<sup>2,\*</sup>, XING Jing-jing<sup>2</sup>

(1.Chengdu Product Quality Supervision and Inspection Institute, Chengdu 610100, China;

2.College of Textiles, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

**Abstract:** The categories of stab-resistant clothing, the stab-resistant mechanism, the influencing factors, common testing method, the materials, organizational structure, and clothing structure of the stab clothing were introduced. The reasonable compound in order to improve the overall puncture-proof and comfortability was one of research directions in the future. The improvement of garment structure and materials to improve comfortability was another development direction.

**Key words:** stab-resistant clothing; stab-resistant mechanism; construction performance; prospect