

# 软质防刺材料的现状与发展

张 莉,李美真\*

(内蒙古工业大学 轻工与纺织学院,内蒙古 呼和浩特 010080)

**摘要:**介绍了国内外防刺材料的研究现状、存在问题及目前研究方向,分析了防刺材料的发展方向和设计。现在用于生产柔性防刺织物的纤维原料主要是芳纶和超高分子量聚乙烯纤维,也可根据需要混合使用这2种纤维;用于生产柔性防刺织物的纤维聚合体形态主要是机织物、针织物、非织造布、无纺布等,目前国内外广泛采用的是机织物和非织造布。

**关键词:**软质防刺材料;纤维;织物组织结构;发展

**中图分类号:**TS102

**文献标识码:**B

**文章编号:**1673-0356(2015)07-0014-03

防刺服装为个体装甲,又称人体装甲,主要保护人体免受刺刀匕首等利器的伤害<sup>[1]</sup>。由于刀刺是一个低速持续的过程,材料的抗剪切强度越大,刀尖变形越快速,从而阻止锐器继续向前行进,达到防护的目的。

从远古时代起,人们就在不停地寻找保护自己的个体装甲。冷兵器时代,士兵们都穿着厚厚的金属或皮革类的盔甲,这类盔甲比较笨重,很大程度上影响了人们的正常活动。随着社会和科技的发展,防刺服已经进入人们的日常生活中,在一些国家枪械的使用在某种程度上受到严格的限制,而来自匕首、刺刀等锐器的威胁却无处不在,这就使个体防护材料中的防刺产品在军用和民用方面得到了快速发展。

## 1 国内外防刺材料的研究状况

国外在防刺产品的研究及开发方面成果显著。美国杜邦公司利用自行研制的芳纶超细纤维(其强度相当于钢丝的5倍)采用机织的方法生产出高密度极高的芳纶防刺背心,隐蔽效果非常好,穿着柔软舒适,赋予穿着者极大的灵活性,且防刺性能满足美国防刺标准。美国 Criminology 国际公司研制的防穿透背心,对尖锐物的冲击能起到较好的防护作用,这种防穿透材料是轻型针织物,能防止尖利物穿透,纤维可以是芳纶或高性能玻璃纤维,为多层结构,各层用缝合、热黏合等方法结合在一起。

国外的科研机构主要是从原料、结构、后加工、实验刀具、测试方法和实验模拟等方面进行研究。防刺

织物原料一般是采用芳纶、超高分子量聚乙烯或以它们混纺的形式,结构上一般采用机织物结构以生产出高紧密度的织物,也有采用针织物结构来获得防刺织物的,如法国 Genitex 实验室利用针织物生产出高质量的柔软防刺服。后加工主要是利用高聚物复合的方式,如美国特拉华大学开发了剪切增稠液防刺服,具有防刺能力强、舒适性好的特性。

国内防刺服的发展历程是从最初的采用全硬质材料到半硬质材料,再到软质材料的过程。早期的防刺服是高性能合金冷轧制成整体造型的防刺背心或采用高强轻质(如铝合金)金属材料来制作成鳞片甲一样的防护层,虽然这种防刺服防刺穿性能优异,但其质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。

国内研究机构对防刺织物也进行了深入的探究,在防刺材料的结构、防刺机理、防刺设备和计算机模拟等方面获得了一定的成果,研究出纬编复合防刺织物结构、机织防刺织物结构和非织造布防刺织物等。纬编复合防刺织物结构以纬编针织物与非织造布叠层复合的形式来实现,而机织防刺织物结构可以是机织物叠层复合也可以是机织物与非织造布叠层复合的形式。从防刺织物原料、织物的结构参数和后加工等方面对织物的防刺机理进行了分析。在研究开发防刺织物的过程中研制了防刺性能的测试设备,如滚筒记录式织物防刺性能测试仪、落锤式动态防刺性能测试仪和准静态防刺性能测试仪装备等<sup>[2]</sup>,可按照我国公安部 GA68-2003 防刺服标准和国际相关防刺标准进行防刺实验,能采集相关曲线便于理论分析。更高层次的研究结果就是建立了穿刺模型,如利用有限元模拟穿刺过程可方便地研究防刺织物的防刺机理并有利于

收稿日期:2015-09-17;修回日期:2015-09-21

作者简介:张 莉(1988-),女,在读硕士研究生,主要研究方向为纺织化学与染整。

\* 通信作者:李美真(1963-),教授,主要研究领域为印染整理,E-mail:13171008772@163.com。

进一步改善织物的防刺性能。

## 2 防刺材料现存问题及目前研究方向

由于种种原因,防刺服装在近年得到很大的关注和迅速发展,然而目前此类产品的开发中还存在不少问题。如在国内外防护服装市场,已经有一些软质防刺服装面世,然而一方面由于市场不规范,其安全性大多没有经过严格的科学鉴定,有的甚至在使用时还出现了问题,另一方面防刺机理还不太清楚。虽然对于防弹机理已经有多年的研究,相对比较成熟,但高速子弹对防弹衣的冲击与低速利器的劈砍和冲击的作用机理是不一样的,且匕首的穿刺作用能量分散范围比较窄,尤其是针尖类刺刀。由于防刺机理不清楚,所以在叠层材质的选择、铺层方式等都还存在一定的问题。另外,防刺服装还存在重量重、穿着灵活性差、价格昂贵难以普及等缺点。

综观国内外防刺服的研究情况,可以总结出目前对防刺产品的研究主要是从以下3个方面展开的。

(1)防刺材料的结构与性能研究,主要针对防刺材料的开发,也是最主要的研究方向。通过研究防刺原理和各种材料的结构参数与防刺性能之间的关系,力图优化防刺材料,使得防刺效果更好,穿着更为舒适。

(2)防刺材料防刺性能的测试方法及标准研究,是对防刺材料进行研究的基础。由于防刺涉及的内容广泛,情况复杂,如何通过实验仪器的测试和相应的标准有效地反映防刺材料实际应用时可能出现的各种危险性,保障穿着者的人生安全,是防刺领域一直以来的一个重要研究方向。

(3)刺入过程的计算机模拟和数值分析,是防刺材料研究的最高阶段。通过计算机对各种穿刺过程的模拟和分析,能够预知不同刺入情况下,不同结构防刺材料的防刺效果,最终实现对防刺材料的结构优化和设计。

## 3 防刺材料的发展方向

目前,对于防刺服的研制,主要集中在对材料的选择和芯片材料结构搭配方面。

### 3.1 软硬材料搭配

就目前可选择材料而言,通常情况下,软质材料的防弹性能较好,硬质材料的防刺性能较好,将软质材料与硬质材料合理搭配便能获得良好的防弹防刺性

能。陶瓷可作为备选的硬质材料,它的高断裂韧性和高强度容易使刀具钝化变形,阻止穿刺发生,与合适的软质防弹材料组合以达到所要求的防弹及防刺效果。

### 3.2 剪切增稠液体<sup>[3-6]</sup>

2000年,美国陆军研究实验室与特拉华州立大学合成物质研究中心成功地研制出剪切增稠液体(shear thickening fluid,简称STF),以此制造出了美军新一代战斗服。这种STF实际上是一种处在固液混合状态的纳米粒子溶剂,它是由聚乙二醇和悬浮在其中的坚硬粒子组成。聚乙二醇是一种应用广泛的无毒液体,能承受的温度范围很广,是非常理想的作为溶剂的基质。当把STF渗入织物中,通常状态下它是以液态的形式存在,但是织物一旦受到冲击、压紧,STF就立刻变成坚硬的固体,使织物更强韧,难以被穿透。

## 4 防刺材料设计

### 4.1 防刺纤维

所谓柔性防刺织物指的是由叠层高性能纤维织物或高性能纤维单向带层和柔性复合材料构成。柔性防刺层材料选用的纤维聚合体形态可以是机织物、针织物、非织造布、无纬布等,目前国内外都是利用纤维聚集态结构经过一定的处理而生产柔性防护服<sup>[7-8]</sup>。防刺织物的纤维材料应具有高强度、高模量、耐剪切、耐冲击等性能。国际上常见的防刺纤维材料包括芳纶、超高分子量聚乙烯纤维、蜘蛛丝、蚕丝丝胶等<sup>[9]</sup>。此外,聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)纤维、陶瓷纤维、碳纤维、聚酯纤维等也有所应用。

### 4.2 组织结构

机织物是目前防刺织物采用最多的一种织物结构形式,由经纬纱交织形成,结构比较紧密,一般用于防刺服的机织物都具有较高的紧密度。平纹机织布结构比较紧密,匕首等锐器很难刺入,但是一旦刺入并有纱线断裂时,经纬纱交织的结构就会很多根纱线接连断裂,所以一般选用该种结构的织物来生产防刺服时,需先对织物经过一些处理弥补其不足之处。机织物是目前应用比较多的一种防刺服结构。

针织物柔软的特性和线圈结构特点,使其具有良好的吸收穿刺冲击能的特性<sup>[10]</sup>。纬编针织物在横列方向由纱线连成一体,经编针织物在纵向由纱线串套形成,在匕首等锐器刺入过程中,被刺入针织物的线圈会滑移,相邻线圈由于纱线滑动而抽紧,随纱线滑动被

抽紧的线圈数量增加,阻碍被刺入线圈扩张的纱线间摩擦力增大,在达到此状态之前没有被剪断,此时会吸收掉大部分的冲击能<sup>[11]</sup>。在某种程度上可以裹住刀尖,起到防刺作用。

非织造布是直接利用高聚物切片、短纤维或长丝通过各种纤网成形方法和固结技术形成的具有柔软、透气和平面结构的纤维制品<sup>[12]</sup>。非织造布的抗刀刃切割能力并不是很好,因为纱线的面内排列较松散,纤维间抱合力差,平行伸直状况不一致,同时在切割过程中还会有纤维抽拔分离过程,对冲击力的整体响应性不好,在受到冲击时表现为材料的逐层破坏,若单独用作防刺材料防刺性能不理想<sup>[13]</sup>。

无纬布一般用于防护领域的防弹材料中,采用超高分子量聚乙烯纤维或芳纶单向平行排列并用热塑性树脂粘结,再经 $0^{\circ}/90^{\circ}$ 正交复合层压而成<sup>[14]</sup>,由于在织物表面没有交织点,有利于能量的迅速传递,因此在防弹领域有广阔的应用空间。

## 5 结语

随着个体防护装甲材料的快速发展,防刺材料的开发和研究在国际上受到越来越多研究者的重视,个体防刺产品在近几年得到了很大关注和快速发展。以金属为主体的硬质防刺材料或金属与纤维织物复合的半柔防刺材料由于有一定的自身缺陷,所以必然被软质防刺材料所取代。

一般纺织织物都不能直接用于生产防刺产品,要经过一定的后加工弥补其不足之处后再投入生产,常见的几种后加工方法有高聚物复合、多种纺织结构复合等。从国内外研究现状中可以看到,用于防刺织物生产的结构大多是机织物和非织造布,纬编织物在理论上得到了具有良好防刺性能的验证,和很多文献中提到的一样,经编织物的结构与性能介于机织物

和纬编织物之间,利用其来开发具有优异防刺性能和服用性能的柔性防刺织物具有广阔的发展前景。

## 参考文献:

- [1] 王刚.浅析防刺服的现状与开发[J].天津工业大学学报,2010,(3):36-38.
- [2] 顾肇文.柔性复合防刺服机理研究[J].纺织学报,2006,(8):80-84.
- [3] 胡小兰,王东,石毓镡,等.用于人体防护装甲的纤维复合材料的研 究[J].纤维复合材料,2000,(6):41-42.
- [4] 徐素鹏,张玉芳.剪切增稠液体在个体防护装甲上的应用进展[J].高科技纤维与应用,2008,33(3):40-43.
- [5] 代利文.具有奇异特性的纳米粒子溶剂[J].技术与市场,2008,(2):7-8.
- [6] Stab resistance of shear thickening fluid(STF)-treated fabrics[J].Composites Science and Technology,2007,(6):565-578.
- [7] 邱冠雄,姜亚明,刘良森.反恐纺织品的发展和探索[J].天津工业大学学报,2003,(8):18-20.
- [8] 郭静荷,邱冠雄,李祖华.纬编复合防刺织物的防刺性能研究[D].天津:天津工业大学,2005.
- [9] 郭静荷.防刺个体装甲材料的发展与现状[J].产业用纺织品,2004,(6):6-8.
- [10] 邱冠雄,姜亚明,刘良森.反恐纺织品的发展和探索[J].天津工业大学,2003,(8):18-20.
- [11] 赵玉梅,俞建勇.柔性复合防刺服的研究[D].上海:东华大学,2005.35-63.
- [12] 袁承军.软质防弹材料现状及防弹衣发展趋势[J].轻兵器,2005,(10):8-9.
- [13] 许吕崧,龙如海.针织工艺与设备[M].北京:中国纺织出版社,1999.14-19.
- [14] M J Decker, C J Habach. Stab resistance of shear thickening (STF)-treated fabrics [J]. Composites Science and Technology,2007,67:565-578.

## Research Status of Soft Stab-resistant Materials

ZHANG Li, LI Mei-zhen\*

(College of Textile and Light Industry, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010080, China)

**Abstract:** The research status, the existing problems and research areas of anti-stab materials were introduced. The design and development trend of anti-stab material were analyzed. Now the fiber materials used in the production of flexible anti-woven fabric was mainly aramid fiber and high molecular weight polyethylene fiber. Two kinds of fibers could mixed use according to actual needs. The fabric of soft stab-resistant contained woven fabrics, knitted fabrics and nonwoven cloth. At present, woven fabrics and nonwovens were widely used at home and abroad.

**Key words:** soft stab resistant material; fiber; fabric structure; development