

# 高强聚乙烯/锦纶/氨纶手套防切割性能的研究

方 园, 李新阳, 黄浚峰

(浙江理工大学材料与纺织学院, 杭州 310018)

**摘 要:** 为了解决薄型手套耐切割性较差的问题,采用高强聚乙烯/锦纶/氨纶包覆纱为原料进行编织,赋予手套较高的防切割性能。通过正交试验的方法,分析纱线结构、细度、捻度以及织物厚度等因素与手套防切割性能的关系。研究表明:在其他条件相同的情况下,与包芯纱、合捻纱相比,包覆纱编织的手套织物防切割性能最好;当高强聚乙烯丝细度一定时,随着捻度的增加,手套防切割性能呈先增大后减少的趋势,防切割性能与纱线的细度、织物单位面积重量呈正相关。

**关键词:** 高强聚乙烯; 防割手套; 包覆纱; 防切割织物; 锦纶; 氨纶

**中图分类号:** TS186.3      **文献标志码:** A

## 0 引 言

随着材料科学与技术的不断进步和高性能纺织纤维材料的研究与应用,功能性产业用纺织品迅速发展和普及,特别是高强防切割手套得到了极大的发展。

通过采用高性能纤维与其它纺织纤维原料的复合,编织成具有防切割性能的功能手套,不仅满足了人们对手部防护的需求,还提高了手套的使用寿命和服用性能。传统上主要采用在纱线中加入金属丝或者极细微金属环的方式来生产防切割手套。根据作业需要,这种防护手套可以分为三指和五指两种。但是这种手套过硬,关节不易弯曲,工作人员使用时穿戴不便,虽然可以提高对手部的防护,但会影响工作效率<sup>[1-3]</sup>。用来生产防切割织物的高性能纤维主要有高强聚乙烯和芳纶类纤维<sup>[4]</sup>。经过处理的高强聚乙烯纤维具有良好的耐化学性,能够耐受绝大部分的化学侵蚀,相比芳纶纤维在紫外线环境下强度损失更小<sup>[5]</sup>。通过选用高强聚乙烯/锦纶/氨纶丝作为原料,编织成防切割性能优良的高强手套,不但弥补了普通手套易磨损,耐切割性能差的不足,而且能很好地满足手套织物服用性与防护性能的要求<sup>[6]</sup>。

本文采用试验研究的方法,通过对影响手套防切割性能因素的分析,为进一步提高手套织物的防切割性能提供参考。

## 1 实验部分

### 1.1 实验材料

包芯纱、包捻纱、包覆纱 3 种纱线编织的手套。

### 1.2 仪器与设备

采用南通宏达实验仪器有限公司生产的 TDM-100 型防护手套耐切割性能测试仪。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 手套耐切割性能

按照 EN-388 机械性危害防护手套标准,取多组手套样本在耐切割测试仪上进行测试。用防切割指数评价手套的防切割性能。抗切割指数 $\leq 1.2$ 时达到一级水平;指数 $\leq 2.5$ 时达到二级水平;指数 $\leq 5$ 时达到三级水平;指数 $\leq 10$ 时达到四级水平;指数 $\leq 20$ 时达到五级水平<sup>[5]</sup>。得到的实验结果与防切割指数标准进行对比,结果越大说明手套的防切割性能越好。

#### 1.3.2 手套耐切割性能测试方法

参考 EN-388 机械防护手套标准,以耐切割次

数为评价指标,在温度为 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度为 $(50\pm 10)\%$ 的条件下,取多组长 $(100\pm 10)\text{ mm}$ ,宽 $(60\pm 6)\text{ mm}$ 尺寸大小的普通手套以及防切割手套的掌部为样本,如图 1 所示,在耐切割性测试仪上分别在 5N 大小的不间断力下进行对照测试,根据样本被割破前所能承受的次数来确定等级。在耐切割测试仪上测试手套的耐切割次数,次数越大,说明防切割性能越好<sup>[7]</sup>。

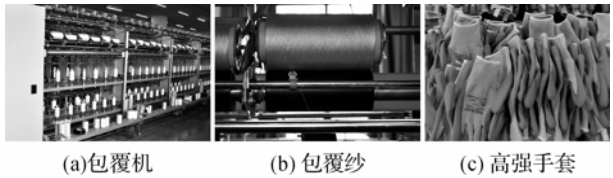


图 1 高强聚乙烯/锦纶/氨纶手套样本

1.3.3 正交试验的设计

手套的防切割性能与纱线结构、捻度、细度、织物厚度等因素密不可分,采用正交实验的方法,研究各因素与手套防切割性能之间的关系。通过极差分析的方法,分析各因素对手套防切割性能的影响的显著性。分别取高强聚乙烯、氨纶成分的包芯纱;高强聚乙烯、氨纶成分的合捻纱以及高强聚乙烯、锦纶、氨纶成分的包覆纱编织 3 种不同纱线结构的手套样本测量。为了提高分析的准确性,采用控制变量的方式,单因素进行分析,纱线只改变最外层高强聚乙烯的捻度和线密度两种参数,而保持 3 种结构纱线的芯纱氨纶丝细度 44.44 dtex 不变、包覆纱中锦纶 77.78 dtex/2F、280 捻/m 不变。正交实验影响因素水平如表 1 所示。

表 1 因素水平表

因 素	A 纱线 结构	B 纱线 线密度/dtex	C 纱线 捻度/(捻/m)	D 织物 面密度/(g/m <sup>2</sup> )
1	包芯纱	88.89	100	150
2	合捻纱	111.11	200	180
3	包覆纱	133.33	300	210

2 结果与讨论

2.1 实验结果与数据处理

根据因素水平表,考察 A、B、C、D 4 种因素与防切割性能的关系,每个因素取 3 种水平,选用正交表 L<sub>9</sub>,得到表 2 所示的正交实验结果<sup>[8]</sup>。

通过极差分析,得出影响手套防切割性能因素的主次顺序 A>B>D>C。根据表 2 中数据,通过比较发现:A 因素对手套防切割性能影响最明显,B 因素其次,C、D 因素对防切割性能影响相对较小。

表 2 正交实验分析结果

实验次数	A	B	C	D	切割次数
1	1	1	1	1	21
2	1	2	2	2	24
3	1	3	3	3	25
4	2	1	2	3	23
5	2	2	3	1	22
6	2	3	1	2	25
7	3	1	3	2	26
8	3	2	1	3	28
9	3	3	2	1	29
K <sub>1</sub>	23.33	23.33	24.67	24.00	
K <sub>2</sub>	23.33	24.33	25.33	25.00	
K <sub>3</sub>	27.67	26.33	24.33	25.33	
k <sub>1</sub>	7.78	7.78	8.22	8.00	
k <sub>2</sub>	7.78	8.11	8.44	8.33	
k <sub>3</sub>	9.22	8.78	8.11	8.44	
极差 R	4.34	3.00	1.00	1.33	

2.2 试验过程受力分析

手套防切割性能的强弱主要取决于手套织物表面所能承受切割外力的作用力大小,切割外力的大小决定了切割时织物的破坏程度。因此,对手套织物表面的受力进行分析,可以为提高手套织物防切割性能提供设计依据<sup>[9]</sup>。

假设一定大小的圆形刀片作用于手套织物表面,在外力作用下,织物受到挤压产生变形,如图 2 所示。其中  $N_t$  为正压力, $P_1$  为  $N_t$  的水平分力, $f$  为摩擦力, $P_2$  为垂直分力,由此得出力的平衡公式为:

$$F_t=N_t(\sin\varphi+ucos\varphi)\quad\left(0\leq\varphi\leq\frac{\pi}{2}\right)$$
$$\frac{d^2F}{d\varphi^2}=-N_t(\sin\varphi+ucos\varphi)<0$$

(1)

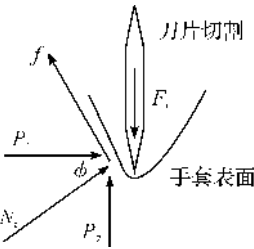


图 2 切割过程中的受力分析

由于二次求导为负值,故当  $\varphi$  取最大值时, $F_t$  取最大值; $\varphi$  减小, $F_t$  也随之减小。压力  $N_t=\sqrt{P_1^2+P_2^2}$ ,式中水平  $P_1$  的大小决定了纱线的滑移量,手套切割时纱线越容易滑移,则滑移量越大,织物结构越松散,储存的能量就越小,抵抗外力破坏的能力越弱,

从而手套织物的防切割性能较弱。通过提高压力分量  $P_1$  使合力  $N_t$  增大,压力  $N_t$  的增加可以使纱线间摩擦作用增强,减少在切割过程中纱线的滑移量,从而把更多的切割功转变成纱线的应变能,使手套的防切割性能得到相应提高<sup>[10]</sup>。

### 2.3 纱线结构对防切割性能的影响

通过表 2 可以发现,纱线结构对手套耐切割性能的影响比较明显。图 3 为纱线结构与手套耐切割次数的之间的关系。

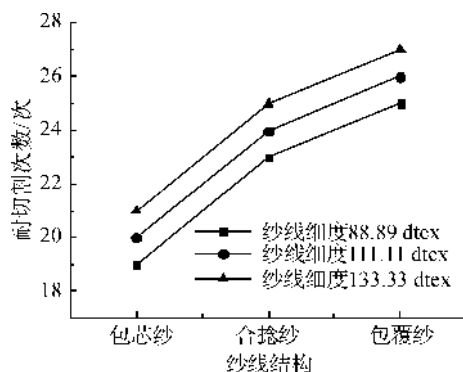


图3 纱线结构与耐切割次数的关系

通过图 3 可知,采用高强聚乙烯纤维、锦纶、氨纶丝 3 种纤维优化组合,手套织物的防切割性能较为优良。在其他因素不变的情况下,采用不同结构的纱线编织的手套其防切割性能存在明显差异。包覆纱、合捻纱的强力比包芯纱高 10%~20% 左右,在 3 种结构复合纱编织的手套织物受到外力拉伸作用时,合捻纱编织的手套织物出现较明显的露底现象。包覆纱编织的手套不仅保证纱线具有较高的力学性能,而且解决了弹性芯纱裸露的难题,且防切割性能最好。

### 2.4 纱线细度对防切割性能的影响

由表 2 知,纱线细度对手套防切割性能的强弱也十分明显。图 4 为纱线细度与耐切割次数的关系曲线。

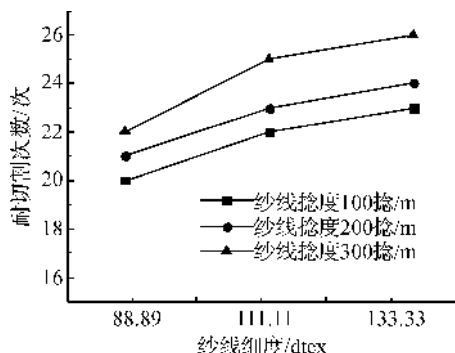


图4 纱线细度与耐切割次数的关系

纱线粗细对防切割性能的影响,纱线的线密度

越大,纱线横截面内所包含纤维数越多,单位面积内受力纤维越多,能承受的外力越大,纱线的强力就越高。手套受到外力切割时,手套织物受到的伤害也越小,防切割性能也就越高。

### 2.5 纱线捻度对防切割性能的影响

由表 2 知,捻度对手套防切割性能影响显著。图 5 为包覆纱捻度与耐切割次数之间的关系。由图 5 可知纱线捻度的大小对手套的防切割性能影响较大。

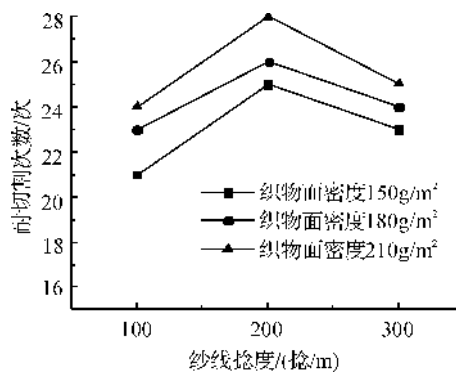


图5 纱线捻度与耐切割次数的关系

随着纱线捻度的增加,手套耐切割次数呈现先增加后减少的趋势,在捻度为 200 捻/m 时,耐切割次数最大。这是由于加捻的作用,使纱线间抱合力增大,同时,纤维间产生向心压力,使纤维间摩擦力增大,不宜产生滑移,随着捻度的继续增大,耐切割次数开始下降。这是因为当纱线捻度达到一定大小后,纱线捻度的增加,使纱线预应力增大,纤维强度的轴向分布开始减弱,使纤维过度倾斜,纤维强力反而降低,所以编织手套时,应适当增加捻度,以防减弱了纱线的力学性能,进而影响手套的防切割性能。

### 2.6 织物面密度与耐切割次数的关系

从表 2 中可以看出,相比其他两种因素,织物面密度对手套耐切割性能影响相对较小,但也有一定的影响。图 6 为织物面密度与手套耐切割次数之间的关系。

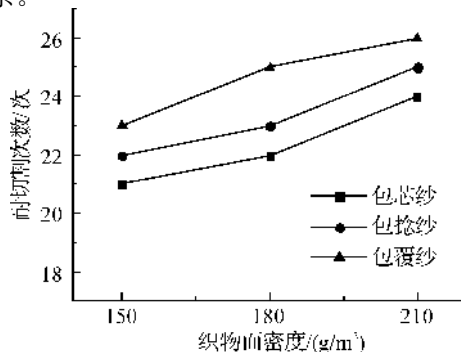


图6 织物面密度与耐切割次数的关系

织物面密度与手套织物的紧密度、尺寸稳定性、未变形能量有关。研究发现:当织物面密度在 $210\text{ g/m}^2$ 时单位面积内蕴含的未变形能量要比 $150\text{ g/m}^2$ 时高33%。织物越厚,线圈中纱线的滑移量越小,尺寸稳定性强,织物未变形能量越高,够吸收的破坏能越大,手套的防切割性能也必然越好。

### 3 结 论

a) 防切割手套对原料的选择要求较高,选择高性能纤维与其它纺织纤维原料的复合,所编织的手套不仅能满足机械性危害防护的要求,通过实际佩戴发现其具有与普通手套接近的外观和佩戴感觉。

b) 以相同原料生产不同结构的纱线,所编织的手套防切割性能有所差异。相比包芯纱、合捻纱,双层包覆结构的包覆纱可以明显提高手套防切割的性能。

c) 随着纱线捻度的增加,手套的防切割性能呈先增大后减小的趋势。

d) 纱线的细度、手套织物的面密度与防切割性能呈正相关,细度越大、织物面密度越大,手套防切割性越好。

### 参考文献:

- [1] Nguyen C T, Dolez P I, Vu-Khanh. T, et al. Effect of protective glove use conditions on their resistance to needle puncture[J]. *Plastics, Rubber and Composites*, 2013, 42(5): 187-193.
- [2] Shockey D A, Piascik R S, Jensen B J, et al. Textile damage in astronaut gloves [J]. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 2013, 13(6): 148-156.
- [3] 刘 森. 防切割纺织品开发[J]. *天津纺织科技*, 2011 (3): 26-27.
- [4] 邱日祥. 材料防切割性能测试的国外标准介绍[J]. *中国个体防护装备*, 2004(4): 31-32, 34.
- [5] 索 芳, 田蕴墨. 工业防护手套的欧洲标准: EN388 机械性危害防护手套标准简介[J]. *中国个体防护装备*, 2006(3): 39-40.
- [6] 于伟东, 储才元. 纺织物理[M]. 上海: 中国纺织大学出版社, 2009: 327.
- [7] 刘 柳, 刘丽芳, 俞建勇. 针织无涂层防切割手套的性能研究[J]. *上海纺织科技*, 2011, 39(10): 60-62.
- [8] 李云燕, 胡传荣. 实验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 124.
- [9] 蒋玉川, 张建海, 李章正. 弹性力学与有限单元法[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 140-143.
- [10] Liang J Z, Duan D R, Tang C Y, et al. Tensile properties of PLLA/PCL composites filled with nanometer calcium carbonate[J]. *Polymer Testing*, 2013, 32(3): 45-49.

## Research on Anti-cutting Performance of High-Strength Polyethylene/Nylon/Spandex Gloves

FANG Yuan, LI Xin-yang, HUANG Jun-feng

(School of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** To solve the problem of poor anti-cutting performance of thin gloves, high-strength polyethylene/nylon/spandex raw materials were adopted to weave gloves so as to improve anti-cutting performance of gloves. Orthogonal experiment was made to analyze the relations among structure, fineness, twist of yarn, thickness of fabrics and anti-cutting performance of gloves. Studies have shown that: with other conditions unchanged, compared with the core spun yarn and twisted yarn, gloves knitted by wrap yarn have the best anti-cutting performance; when fineness of high strength polyethylene filament is certain, anti-cutting performance of gloves first increases and then reduces with the rise in twist; anti-cutting performance is positively related to fineness of yarn and weight per unit area of fabrics.

**Key words:** high-strength polyethylene; anti-cutting glove; covered yarn; anti-cutting fabric; nylon; spandex

(责任编辑: 许惠儿)