

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2026.03.018

高性能纤维树脂基防刺材料在国内外防刺标准下的防刺性能对比

张文婷^{1,2}, 李英建^{1,2}, 翟文¹, 魏汝斌^{1,2}, 甄建军^{1,2}, 王小伟^{1,2}, 董彬^{1,2}, 梁勇芳^{1,2}, 吴忻铭^{1,2}, 刘文龙^{1,2}

(1. 山东非金属材料研究所, 济南 250031; 2. 山东三达科技发展有限公司, 济南 250031)

摘要: 本文通过对比分析高性能纤维树脂基防刺材料在中国《GA 68-2024 警用防刺服》防刺标准与美国《Stab Resistance for Personal Body Armour NIJ0115.00-2000》防刺标准下的测试结果, 探究不同高性能纤维树脂基防刺材料的防刺性能差异, 并剖析国内外防刺标准评价指标特点及对材料性能要求的侧重点。测试方法为通过计算各高性能纤维树脂基防刺材料在防御某防刺级别时所需材料的层数和面密度值来判定各防刺材料的防刺性能。研究表明, 针对高性能纤维树脂基防刺材料而言, 防刺材料在树脂含量接近时, 纤维强度越高防刺性能越好, 防刺材料在纤维强度相同时, 树脂含量越高防刺性能越好; 防GA68防刺标准A类所需材料为B类的2倍以上, GA68标准中的D2刀威力大于D3刀; NIJ0115.00标准中的S1刀威力相对较弱, P1刀对防刺材料的纤维强度要求高, spike刀对防刺材料中树脂含量要求高; 高温条件对树脂基防刺材料的影响最大, 对样品进行GA68标准测试时重点关注材料的高温防刺性能。

关键词: 防刺性能; 高性能纤维; 防刺标准; 防刺材料; 面密度

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2026)03-0150-06

Comparison of stab-resistant performance of high-performance fiber resin-based stab-resistant materials under domestic and international stab-resistant standards

ZHANG Wenting^{1,2}, LI Yingjian^{1,2}, ZHAI Wen¹, WEI Rubin^{1,2}, ZHEN Jianjun^{1,2}, WANG Xiaowei^{1,2}, DONG Bin^{1,2},LIANG Yongfang^{1,2}, WU Xinming^{1,2}, LIU Wenlong^{1,2}

(1. Shandong Non-metallic Materials Institute, Jinan 250031, China;

2. Shandong Sanda Scientific and Technological Development Co., Ltd., Jinan 250031, China)

Abstract: The differences in the stabbing resistance performance of high-performance fiber-reinforced resin-based stab-resistant materials were investigated by comparing the test results under "GA 68-2024 Police Stab-proof Vest Standard" and "Stab Resistance for Personal Body Armour NIJ0115.00-2000 Standard". The characteristics of the evaluation indicators and the focus of material performance requirements in domestic and international stab-resistant standards were also analyzed. The testing method was to determine the stabbing resistance performance of each stab-resistant material by calculating the number of layers and surface density values of the high-performance fiber-reinforced resin-based stab-resistant materials required to defend against a certain level of stabbing. The research results show that for high-performance fiber resin-based stab-resistant materials, the higher the fiber strength, the better the stab-resistant performance when the resin content is close, and the higher the resin content, the better the stab-resistant performance when the fiber strength is the same. The materials required for class A of the GA68 stab-resistant standard are more than twice those of class B. In the GA68 standard, the D2 knife is more powerful than the D3 knife. In the NIJ0115.00 standard, the S1 knife is relatively less powerful, the P1 knife requires higher fiber strength of the stab-resistant material, and the spike knife requires higher resin content of the stab-resistant material. High-temperature conditions have the greatest impact on resin-based stab-resistant materials. When testing the samples according to the GA68 standard, special attention should be paid to the high-tempera-

基金项目: 重点新材料研发及应用国家科技重大专项(科技创新2030重大项目)(2025ZD0613300)

通信作者: 李英建, 硕士, 研究员, 研究方向为人体防护材料及制品

收稿日期: 2025-11-21

引用格式: 张文婷, 李英建, 翟文, 等. 高性能纤维树脂基防刺材料在国内外防刺标准下的防刺性能对比[J]. 工程塑料应用, 2026, 54(3): 150-155.

ZHANG Wenting, LI Yingjian, ZHAI Wen, et al. Comparison of stab-resistant performance of high-performance fiber resin-based stab-resistant materials under domestic and international stab-resistant standards[J]. Engineering Plastics Application, 2026, 54(3): 150-155.

ture stab-resistant performance of the materials.

Keywords : stab-resistant performance ; high-performance fiber ; stab-resistant standard ; stab-resistant materials ; areal density

防刺服中防刺材料的发展史历经了3个阶段,分别是硬质防刺材料阶段、半硬质防刺材料阶段和软质防刺材料阶段,目前国内外常见的软质防刺材料主要是高性能纤维树脂基防刺复合材料,这种材料制作的防刺服因穿着舒适和不易产生二次伤害而代替硬质防刺和半硬质防刺材料^[1-7]。

芳纶(包括对位芳纶和杂环芳纶)纤维、聚对苯撑苯并双噁唑(PBO)纤维、超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)纤维和碳纤维是目前最主要的高性能纤维。PE-UHMW纤维表面极性低,而用于浸润纤维的增强树脂的表面极性高,这就使得PE-UHMW纤维和树脂间的结合力较弱,不适合进行树脂基防刺材料的制备^[8-10]。碳纤维虽具有较高的拉伸强度和模量,但较低的断裂韧性导致吸能有限,很少单独应用于防护领域。因此,适用于树脂基防刺材料的高性能纤维主要为芳纶和PBO等芳香族纤维^[11-14]。

为了评判防刺材料的防刺能力,美国、英国、德国等国家都制定了相关防刺服标准,最具影响力的是美国司法部国家司法研究所颁布的《Stab Resistance of Personal Body Armor,NIJ Standard 0115.00-2000》,该标准在世界很多范围通用。我国也有公安部专门制定的防刺服标准《GA 68-2024 警用防刺服》。

本文就目前这类高性能纤维树脂基防刺材料在中国防刺标准和美国防刺标准下的防刺性能进行了系统性的对比和评判,并剖析国内外防刺标准在测试方法、评价指标以及对材料性能要求方面的特点与侧重点。

1 实验部分

1.1 主要原材料

普强对位芳纶纤维织物:TH5108,纤维拉伸强度21.5 cN/dtex,烟台泰和兴防护科技有限公司;

高强对位芳纶纤维织物:TH61081,纤维拉伸强度23.5 cN/dtex,烟台泰和兴防护科技有限公司;

杂环芳纶纤维织物:F-3P200,纤维拉伸强度28 cN/dtex,中蓝晨光化工研究设计院有限公司;

PBO纤维织物:JQZW SP200-1100,纤维拉伸强度28 cN/dtex,中科金绮新材料科技有限公司;

环氧树脂、改性脂肪胺:自制。

1.2 主要仪器及设备

GA68 防刺试验机:MPFCT-2000,承德市世鹏检测设备有限公司;

NIJ 防刺试验机:AQJL-300,承德市世鹏检测设备有限公司;

GA68 测试刀具:D1,D2,D3,承德市世鹏检测设备有限公司;

NIJ 测试刀具:P1,S1,Spike,承德市世鹏检测设备有限公司。

1.3 试样制备

由于不同高性能纤维与环氧树脂的相容性存在差异,即使初始织物面密度相同,在涂胶固化后制备的防刺材料面密度仍会出现细微差别^[15-18]。为确保试验结果的科学性和严谨性,选取面密度均为200 g/m²的四种高性能纤维织物,包括普强对位芳纶纤维织物、高强对位芳纶纤维织物、杂环芳纶纤维织物和PBO纤维织物。

采用手工涂胶工艺制备防刺材料。将上述4种高性能纤维织物裁成350 mm×300 mm的样品若干,用刮刀在织物两面涂覆环氧树脂,随后置于热压罐中进行后固化处理,工艺参数为120℃、成型压力0.3 MPa,保温4 h。制备出6种高性能纤维树脂基防刺复合材料。其中,1#至3#防刺材料样品纤维种类一致,均为普强对位芳纶纤维织物,但是1#至3#的树脂含量依次递增;3#至6#防刺材料样品纤维种类各异,但是树脂含量接近。防刺材料样品的基本参数见表1。将防刺材料叠加并用黑色防水布密封包覆制备成防刺层后进行测试,黑色防水布可以有效保护防刺材料免受光照、水分和污物的影响,确保测试的准确性。后续测试中的各样品的面密度值为防刺材料整体的面密度值,均不含防水布。

1.4 测试与表征

采用GA 68和NIJ 0115.00对防刺层样品进行测试,两个测试标准对比见表2。GA 68分为2个级别,穿刺能量都是24 J,测试时不允许穿透。分别是A类和B类,A类适用于一般场所,刀具只有1种;B类是专门针对航空场所,该场所出现极其锋利刀具可能性极小,所以B类中的D2刀和D3刀锋利度降低。

表 1 制备的防刺材料参数

Tab. 1 Parameters of prepared stab-resistant materials

Samples	Fiber fabric type	Fabric areal density/(g·m ⁻²)	Stab-resistant material areal density/(g·m ⁻²)	Resin mass fraction/%
1 [#]	Low-para-aramid	200	300	30.0
2 [#]		200	350	42.9
3 [#]		200	390	48.7
4 [#]	High-para-aramid	200	385	48.0
5 [#]	Heterocyclic aramid	200	395	49.4
6 [#]	PBO	200	400	50.0

表 2 GA 68 和 NIJ 0115.00 对比

Tab. 2 Comparison of GA 68 and NIJ 0115.00

Standard	Protection level	Knives	Energy/J	Permissible penetration depth/mm
GA 68	A	D1	24±0.5	0
	B	D2, D3	24±0.5	0
NIJ 0115.00	E1	I	24±0.5	7
		II	33±0.5	7
		III	43±0.5	7
	E2	I	36±0.5	20
		II	50±0.7	20
		III	65±0.8	20

Note: E1 and E2 represent two energy levels of stab-resistant test in NIJ 0115.00.

NIJ 0115.00 分为 3 个等级,每个等级都需要通过 3 种刀(P1 刀、S1 刀和 spike 刀)的测试,而且每个级别分为两种能量,低能量测试时允许最大穿透量为 7 mm,高能量测试时允许最大穿透量为 20 mm。

GA 68 和 NIJ 0115.00 测试设备结构和原理相同,图 1 为防刺测试设备示意图,图 2 为测试用刀具。防刺层放在操作台防刺材料背衬上,测试刀具通过测试体以自由落体的方式刺入防刺层,测速区通过采集刀具的自由落体速度转换成测试能量,能量满足标准要求,则测试有效。

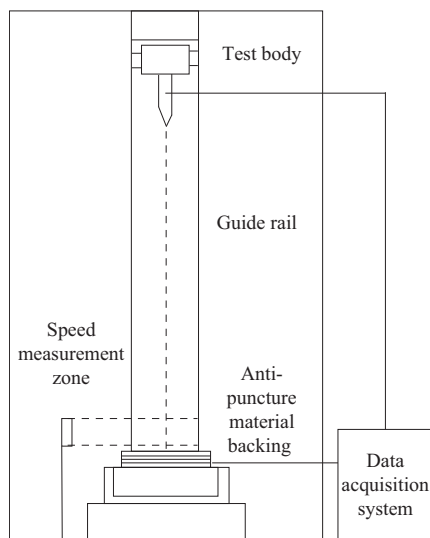


图 1 防刺测试设备示意图

Fig. 1 Stab-resistant test equipment schematic diagram

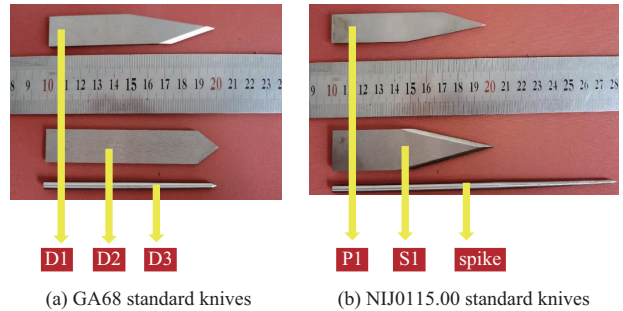


图 2 防刺测试用刀具

Fig. 2 Knives for stab-resistant testing

2 结果与讨论

2.1 不同防刺材料在不同防护标准下的防刺性能对比

在常温测试条件下,对表 1 中的 6 种防刺材料进行了防刺测试,同一个方案测试的样本数为 5 组,测试结果取 5 组样品的平均值。在同样的防护级别下,若所需某种防刺材料的层数越少,即整体材料面密度越小,则表明该种防刺材料的防刺能力越强;反之,所需某种防刺材料的层数越多,即整体材料面密度越大,则该种防刺材料的防刺能力越弱。不同防刺材料在不同防护标准下防刺性能对比见表 3, GA68 A 类和 GA68 B 类测试能量 24 J, NIJ0115.00 I 级、II 级和 III 级均按标准要求进行对应级别的 E1 和 E2 能量测试,结果取同时满足两种能量下材料所需面密度最大值。

由表 3 可知,(1)在同级别防刺标准下,树脂含量接近的 3[#]、4[#]、5[#]、6[#]防刺材料中,6[#]PBO 防刺材料的面密度最低,3[#]对位芳纶防刺材料所需面密度最高,因此 6[#]PBO 防刺材料防刺性能最佳。表明当树脂基防刺材料的树脂含量相同的情况下,防刺材料中的纤维强度越高,防刺性能越好。(2)在同级别防刺标准下,在同种纤维织物的情况下,1[#]、2[#]和 3[#]防刺材料的面密度呈递增关系。表明当树脂基防刺材料在纤维相同的情况下,防刺材料中的树脂含量越高,防刺性能越好。(3)GA 68 A 和 B 类虽然都是刀具以 24

表3 不同防刺材料在不同防刺标准下防刺性能对比

Tab. 3 Comparison of the stabbing resistance performance of different stab-resistant materials under different stabbing standards

Items	Samples	Levels				
		GA 68 A	GA 68 B	NIJ 0115.00 I	NIJ 0115.00 II	NIJ 0115.00III
Average number of layers required	1 [#]	23	10	24	27	32
	2 [#]	19	8	19	22	26
	3 [#]	16	6	16	18	21
	4 [#]	15	6	15	17	20
	5 [#]	14	5	14	16	19
	6 [#]	13	5	14	15	19
Average areal density/(kg·m ⁻²)	1 [#]	6.9	3.0	7.2	8.1	9.6
	2 [#]	6.7	2.8	6.7	7.7	9.1
	3 [#]	6.2	2.4	6.2	7.0	8.2
	4 [#]	5.8	2.4	5.8	6.6	7.8
	5 [#]	5.5	2.0	5.5	6.3	7.5
	6 [#]	5.2	2.0	5.5	6.0	7.5

J能量穿刺,但是因为刀具锋利度不一样,B类刀具威力更弱,防A类刀具所需防刺材料面密度为防B类刀具所需防刺材料面密度的2倍以上,说明GA 68中B类刀具威力不及A类刀具的一半;NIJ 0115.00三个级别的穿刺能量是递增关系,所以表中看出防御三个级别时所需防刺材料的层数和面密度也是递增关系。(4)防御GA 68 A类和NIJ 0115.00 I级所需防刺材料面密度接近,因为GA 68 A类是24 J穿刺能量,不允许穿透,而NIJ 0115.00低能量是24 J,允许穿透7 mm,高能量是33 J,允许穿透20 mm,所以这两个防护级别对树脂基防刺材料来说,威力相当。

2.2 不同防刺材料在不同防护刀具下的防刺性能对比

针对GA 68 B类标准2种刀型,NIJ 0115.00标准3种刀型,分别研究了在同样能量下不同刀型对材料的危害程度。同样的防刺标准情况下,在评判某种材料防刺性能是否合格时,往往由标准中威力

较大的刀具决定,因为某样品可防住该标准下威力大的刀具,即可推断该样品达到该级别的防刺标准;不同刀具对材料要求的侧重点不同,可通过不同刀具下防刺性能的差异分析材料性能特点。将GA 68 B类的2种刀具和NIJ 0115.00的3种刀具分别对不同防刺材料进行测试,表4列出了不同刀具测试时材料满足相应的GA 68 B类和NIJ 0115.00 I级所需的材料层数和面密度。

从表4看出,(1)GA 68 B类的2种刀具对于高性能纤维树脂基防刺材料来说,都是防御D2刀所需防刺材料少于防御D3刀时防刺材料,说明D3刀威力更大,所以在针对防刺性能的摸底测试时,若一定面密度的材料可防D2刀,即可大致判断该种材料在该面密度下可防GA 68 B类级别的测试。(2)NIJ 0115.00的3个级别中,均是高能量(允许穿透20 mm)所需材料的面密度比低能量(允许穿透7 mm)所需材料的面密度高,所以在针对防刺性能的摸底

表4 不同防刺材料在不同防刺刀具下防刺性能对比

Tab. 4 Comparison of the stabbing resistance performance of different stab-resistant materials under different stabbing knives

Items	Samples	Types of stabbing knives							
		D2	D3	P1		S1		Spike	
				E1	E2	E1	E2	E1	E2
Average number of layers required	1 [#]	10	10	21	23	19	21	22	24
	2 [#]	8	8	17	19	16	17	17	19
	3 [#]	6	5	14	16	13	14	14	15
	4 [#]	6	5	13	15	12	13	14	15
	5 [#]	5	4	12	14	11	12	13	14
	6 [#]	5	4	12	13	11	12	13	14
Average areal density/(kg·m ⁻²)	1 [#]	3.0	3.0	6.3	6.9	5.7	6.3	6.6	7.2
	2 [#]	2.8	2.8	6.0	6.7	5.5	6.0	6.0	6.7
	3 [#]	2.4	2.0	5.4	6.2	5.0	5.4	5.4	5.8
	4 [#]	2.4	2.0	5.0	5.8	4.6	5.0	5.4	5.8
	5 [#]	2.0	1.6	4.8	5.5	4.4	4.8	5.2	5.5
	6 [#]	2.0	1.6	4.8	5.2	4.4	4.8	5.2	5.5

测试时,若一定面密度的材料可防 NIJ 0115.00 的某级别高能量测试,即可判断该种材料在该面密度下时可防该级别的测试,无需再进行同级别的低能量测试。(3)在 NIJ 0115.00 的 3 种刀型中,对于高性能纤维树脂基防刺材料而言,防御 S1 刀所需要的防刺材料面密度最低,说明 S1 刀威力最弱。NIJ 0115.00 中 P1 刀类似于国内公安防刺标准的 D1 刀,该种刀型刀刃较长且宽,该种刀型在穿刺时对材料的剪切作用更强,对纤维的力学性能要求更高;所以纤维强度高的防刺材料的防 P1 刀更有优势,因此 3[#]、4[#]、5[#]、6[#]树脂含量相当的防刺材料中,6[#]防刺材料力学性能最佳,其防 P1 刀所需材料的面密度就更低;NIJ 0115.00 中 spike 刀尖锐且纤细,在刀具高速向下冲击下,极容易避开纤维束缚,减少刀具剪切纤维束的过程,导致不能有效耗散刀具动能,使得刀具持续向下穿刺,所以在防御该种刀型时,材料的树脂含量和树脂硬度指标显得更为重要,在 1[#]、2[#]、3[#]同种纤维但是树脂含量不同的情况下,3[#]材料防护该种刀型比防其他刀型优势更明显。而且从表 4 中看出,3[#]、4[#]、5[#]、6[#]防刺材料在纤维强度不同但是树脂含量相当时,防 spike 刀差距不明显,进一步确定了 spike 刀对防刺材料的树脂含量要求更高。

2.3 不同防刺材料在不同环境下的防刺性能对比

我国的防刺标准 GA 68 中,专门针对防刺服的环境适应性进行了详细的说明,包括高温、低温、浸水三种情况。高温条件是在(55±2)℃条件下,处理 4 h 后进行防刺测试;低温条件是在(-20±2)℃条件下,处理 4 h 进行测试,浸水是将防刺层样品在水中浸泡 30 min 后取出进行防刺测试。各防刺材料在不同环境下测试时所需材料的层数和面密度见表 5。

由表 5 可以看出,在高温条件下,高性能纤维树脂基防刺材料所需的面密度更大。而在浸水环境和常温条件下,所需材料的层数和面密度基本一致。此外,在低温条件下,所需材料的层数最少,面密度最低。其原因在于,高温条件下树脂的硬度会降低,而硬度是影响防刺材料防刺性能的关键因素之一。硬度降低会导致防刺层对刀尖的钝化作用减弱,从而降低防刺性能。相反,在低温环境下,树脂的硬度会增强,因此各防刺材料的防刺性能表现更好。由浸水实验结果可以看出,在生产防刺服时,只要确保包覆防刺材料的防水布的防水性能质量达标,防刺材料在浸水环境下的防刺性能就不会受到影响。在对防刺材料进行摸底测试时,应重点关注高温环境下的防刺性能。

表 5 不同防刺材料在不同环境条件下的防刺性能对比

Tab. 5 Comparison of the stab-resistant performance of different stab-resistant materials in different environments

Items	Samples	Environments			
		Ambient temperature	High temperature	Low temperature	Water-soaking
Average number of layers required	1 [#]	20	23	20	20
	2 [#]	17	19	16	17
	3 [#]	15	16	14	15
	4 [#]	14	15	13	14
	5 [#]	13	14	12	13
	6 [#]	12	13	12	12
Average areal density/(kg·m ⁻²)	1 [#]	6	6.9	6	6
	2 [#]	5.9	6.7	5.6	5.9
	3 [#]	5.8	6.2	5.4	5.8
	4 [#]	5.4	5.8	5.1	5.4
	5 [#]	5.2	5.5	4.8	5.2
	6 [#]	4.8	5.2	4.8	4.8

3 结论

(1)对于高性能纤维树脂基防刺材料而言,材料中树脂含量相同或相近的情况下,其纤维强度越高,该材料防刺性能越好;材料中的纤维强度一致的情况下,其树脂含量越高,该材料的防刺性能越好。

(2)GA 68 中 A 类防刺所需高性能树脂基防刺材

料的面密度是 B 类的 2 倍以上;防御美国 NIJ 0115.00 标准中 3 个级别所需材料和面密度是递增关系,且防御同等级别高能量比防御同等级别低能量更难;GA 68 A 类和 NIJ 0115.00 I 级防刺性能相当。

(3)对于高性能纤维树脂基防刺材料而言,GA 68 的 D2 刀威力小于 D3 刀;NIJ 0115.00 刀具中 S1 刀

威力最弱,P1刀对防刺材料的纤维强度要求高,spike刀对防刺材料的树脂含量要求高。

(4)高温环境对高性能树脂基防刺材料的影响最大,对材料进行摸底测试,应重点关注高温环境的防刺性能。

参考文献

- [1] 毛利洲,马岩,严雪峰,等.防刺材料的研究现状与发展[J].棉纺织技术,2022,50(2):15-19.
MAO Lizhou, MA Yan, YAN Xuefeng, et al. Study status and development of stab resistant material[J]. Cotton Textile Technology, 2022, 50(2):15-19.
- [2] 邱日祥,韩启龙.防刺服的现状与发展[J].警察技术,2020(5):77-81.
QIU Rixiang, HAN Qilong. Status and development of stab resistant clothing[J]. Police Technology, 2020(5):77-81.
- [3] GÜRGEN S, KUŞHAN M C. The stab resistance of fabrics impregnated with shear thickening fluids including various particle size of additives[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2017, 94:50-60.
- [4] 楚艳艳,李施辰,陈超,等.柔性抗冲击纺织材料及其结构的研究进展[J].纺织学报,2022,43(12):203-212.
CHU Yanyan, LI Shichen, CHEN Chao, et al. Research progress in bulletproof flexible textile materials and structures[J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(12):203-212.
- [5] 李婷,王增效,胡祖明,等.对位芳纶表面改性的最新研究进展[J].合成纤维工业,2018,41(6):42-47.
LI Ting, WANG Zengxiao, HU Zuming, et al. Latest research progress in surface modification of p-aramid fiber[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2018, 41(6):42-47.
- [6] 董彬,魏汝斌,王小伟,等.纤维增强树脂基复合材料防弹头盔研究进展[J].兵器材料科学与工程,2022,45(4):125-132.
DONG Bin, WEI Rubin, WANG Xiaowei, et al. Progress of bulletproof helmet made by fibre reinforced polymer composites[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2022, 45(4):125-132.
- [7] 梁高勇,崔中雪,张晓彤,等.警用防刺服的产品标准与研究方法[J].产业用纺织品,2022,40(12):9-17.
LIANG Gaoyong, CUI Zhongxue, ZHANG Xiaotong, et al. Research on standards and testing methods for police stab-resistant armor[J]. Technical Textiles, 2022, 40(12):9-17.
- [8] 闫卫星,肖咏梅,陈红霞,等. Kevlar纤维UD布的力学性能研究[J].化工新型材料,2024,52(8):94-99.
YAN Weixing, XIAO Yongmei, CHEN Hongxia, et al. Study on the mechanical properties of Kevlar fiber UD cloth[J]. New Chemical Materials, 2024, 52(8):94-99.
- [9] 李凤艳,叶天宇,展晓晴,等.涤纶与芳纶及超高分子量聚乙烯纤维复合纱防刺织物的制备及其性能[J].纺织学报,2021,42(7):82-88.
LI Fengyan, YE Tianyu, ZHAN Xiaoqing, et al. Preparation and properties of puncture-resistant fabrics made from polyester and aramid or ultrahigh molecular weight polyethylene compound yarns[J]. Journal of Textile Research, 2021, 42(7):82-88.
- [10] 田明月,王蕊宁,孙润军,等. UHMWPE 织物/剪切增稠液防刺复合材料的制备及性能[J].高分子材料科学与工程,2020,36(11):109-116.
TIAN Mingyue, WANG Ruining, SUN Runjun, et al. Preparation and properties of UHMWPE fabric/shear thickening fluid stab-resistant composite materials[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2020, 36(11):109-116.
- [11] 刘宇航,黄广炎,张宏,等.高性能复合纤维的防刺机理[J].兵工学报,2022,43(9):2143-2151.
LIU Yuhang, HUANG Guangyan, ZHANG Hong, et al. Stabbing resistance mechanism of high-performance composite fabrics[J]. Acta Armamentarii, 2022, 43(9):2143-2151.
- [12] 邢京京,钱晓明.织物的防刺机制及刀具形状对防刺性能的影响[J].纺织学报,2017,38(8):55-61.
XING Jingjing, QIAN Xiaoming. Stab-resistant mechanism of fabrics and influence of cutter shape on stab resistance[J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(8):55-61.
- [13] 钟智丽,薛兆磊,孙涵,等.三维机织物防刺性能研究[J].纺织科学与工程学报,2018,35(4):19-23.
ZHONG Zhili, XUE Zhaolei, SUN Han, et al. Study on stab-resistant property of three-dimensional woven fabric[J]. Journal of Textile Science & Engineering, 2018, 35(4):19-23.
- [14] 秦愈,马崇启.三向织物及其力学性能研究进展[J].丝绸,2021,58(2):35-45.
QIN Yu, MA Chongqi. Research progress of triaxial woven fabric and its mechanical properties[J]. Silk, 2021, 58(2):35-45.
- [15] 师琅,王珊,王何一帆,等.耐低温水凝胶基防刺复合材料的制备及性能研究[J].棉纺织技术,2024,52(6):49-54.
SHI Lang, WANG Shan, WANG Heyifan, et al. Preparation and property study of low-temperature resistance hydrogel based anti-stabbing composite[J]. Cotton Textile Technology, 2024, 52(6):49-54.
- [16] 马飞飞.离散树脂成型复合材料的防刺与服用性能[J].纺织学报,2020,41(7):67-71.
MA Feifei. Stab-resistant performance and wearability of composite materials made by discrete resin molding[J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(7):67-71.
- [17] 谢正权.一种警用防刺服:CN109238013A[P]. 2019-01-18.
XIE Zhengquan. Anti-puncturing garment for polices: CN109238013A[P]. 2019-01-18.
- [18] 胡建海,唐黎磊,李湉,等.碳纤维和芳纶纤维的蚀刻改性及其复合材料界面结合性能研究进展[J].表面技术,2021,50(10):94-116.
HU Jianhai, TANG Junlei, LI Tian, et al. Research progress on etching modification of carbon fiber and aramid fiber and the interface bonding performance of their composite materials[J]. Surface Technology, 2021, 50(10):94-116.