

针织结构在安全防护纺织品中的研究

陈秀玲, 宋晓霞

(上海工程技术大学 纺织服装学院, 上海 201620)

摘要: 为了开发防护性与舒适性并存的针织纺织品, 叙述针织结构在安全防护纺织品中的研究进展, 并归纳和总结针织结构在安全防护纺织品中的应用现状。研究表明, 针织结构既具有良好的热湿舒适性、柔软性, 又具有抗冲击性, 在安全防护纺织品领域具有广阔的发展前景。同时指出改进纤维、纱线、织物加工技术, 协调舒适性、防护性和美观性的关系, 提高针织安全防护纺织品智能化水平是未来针织结构在安全防护纺织品领域的发展趋势。

关键词: 针织结构; 安全防护; 纺织品; 间隔织物; 负泊松比

中图分类号: TS 184

文献标志码: B

文章编号: 1000-4033(2024)10-0001-06

Research Progress of Knitted Structures in Safety Protection Textiles

Chen Xiuling, Song Xiaoxia

(School of Textiles and Fashion, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: In order to develop knitted textiles with coexistence of both protection and comfort, the research progress of knitted structures in safety protection textiles is described, and the application status of knitted structures in safety protection textiles is summarized as well. The results show that the knitted structure has good thermal and moist comfort, softness and impact resistance, and has broad development prospects in the field of safety protection textiles. At the same time, it is pointed out that improving the processing technology of fibers and fabrics, coordinating the relationship between comfort, protection and aesthetics, and improving the intelligence level of knitted safety protection textiles, are the future development trends of knitted structures in the field of safety protection textiles.

Key words: Knitted Structures; Safety Protection; Textiles; Spacer Fabrics; Negative Poisson's Ratio

安全防护是指在特定环境下, 采取必要防护措施使人员和动物免受机械、物理和化学等因素的伤害, 包括防火、防寒、防辐射、防刺、防割、防弹以及防生化侵蚀等方面^[1]。现阶段随着纺织织造技术和高性能纺织材料发展, 用于抵抗冲击的安全防护纺织品逐渐丰富, 如梭织物、针织物和非织造布等。研制一款既具有良好柔软性、透气性和易护理性, 又能够有效抵抗外力冲击的纺织品是纺织企业多年来的一

大挑战。市面上普通的硬质壳防护产品不仅限制了穿着者的身体灵活性, 穿戴者往往也感到不适, 许多软泡沫和凝胶系列防护产品也缺乏透气性, 且安全防护性较低^[2]。与梭织物和编织物相比, 针织物具有更大可变形性和更好可设计性, 纱线的相互串套和高度互锁导致针织物初始模量低, 在受到外界冲击时, 能将应力分布于更大区域, 此外, 针织面料本身具有良好热湿舒适性。本文介绍安全防护针织结

构的制备方法, 包括二维安全防护针织结构和三维安全防护针织结构, 阐述针织结构在安全防护纺织品中的应用, 并分析目前针织安全防护纺织品的发展前景。

1 安全防护针织结构

很多面料能够用于安全防护是因为纱线的高强度性能, 但高强度纱线形成的线圈灵活性往往较差, 在受外力冲击时常会形成一个孔洞。Flabard^[3]研究了不同高性能纤维针织结构抗切割性和抗刺性,

基金项目: 企业委托科研项目((0239-E4-6000-19-0339)(19)FZ-020)。

作者简介: 陈秀玲(1998—), 女, 硕士研究生。主要从事针织服装设计与工艺的研究。

通讯作者: 宋晓霞(1972—), 女, 教授, 博士。E-mail: songxiaoxia@126.com。

发现针织结构在冲击载荷期间吸收能量的能力比梭织结构和非织造结构更高,因此研究针织结构与安全防护的关系很有必要。

1.1 二维安全防护针织结构

二维安全防护针织结构以两种形式表现:一种是二维平面织物用铺层方式合成复合材料;一种是在平面针织结构中嵌入特种纱线。

1.1.1 针织复合材料

复合材料是用物理和化学手段通过人造工艺技术复合而成的,复合材料既具有组成材料自身的优良性能,同时利用各组分材料之间相互作用可有效改善或使一些性能更加显著^[4]。对于抗冲击安全防护纺织品复合材料主要是将缓冲类材料与普通纺织品材料铺层组合成复合材料来增强其防护性能,在组合基础上兼顾纺织品复合材料性能。

虽然针织复合材料与其他材料相比,在拉伸和压缩方面的性能稍差,但在承载能力上与其他复合材料相差不大,并且其能量吸收和抗冲击性能优于其他材料^[5],各种复合材料性能比较见表 1^[6]。由表 1 可知,针织增强复合材料机械性能介于梭织增强复合材料和不规则纤维毡复合材料之间,因为针织结构具有良好变形性,相比其他复合材料,层间断裂韧性更好,使其具有更好能量吸收和抗冲击特性。

在生产安全防护针织复合材料时,往往通过改变铺层方式和复合方式来制作达到理想性能的复合材料,但铺层方式几乎不会改变针织增强复合材料抗冲击性能和能量吸收^[7]。

常见复合方式主要有以下几种^[8]:泡沫涂层织物,将织物与泡沫塑料黏合在一起,其质量轻、保暖、透气性好;黏合织物,中间加填充

料由上下两层织物背对背黏合成三层复合,可以改善织物的手感以及保暖性等;薄膜涂层织物,在防水透气材料或保暖材料上应用较广泛;多层保暖织物,中间加絮料,内外两层包覆,通过织造将织物材料进行结合,一般用作冬季保暖服装的面料。阮兰^[9]综合常见复合织物制作方法与面料服用性能及影响针织安全防护复合材料抗冲击和能量吸收性能因素,提出面料复合方式包括 6 种,如图 1 所示:双层复合、双层绗缝复合、双层黏合衬复合、双层黏合衬绗缝复合、双层夹缓冲材料复合、双层夹缓冲材料绗缝复合。

1.1.2 针织结构嵌入纱

嵌入伸直纱线是提高针织结构抗冲击性能的有效途径之一。马

会英^[10]使用四平组织织成玻璃长丝织物,在四平组织纬向每隔一行嵌入一根伸直纱线进行加固形成复合材料,并与没有加固结构的复合材料分别做抗冲击性能试验,最后制作出能量转换曲线。结果表明,针织结构嵌入加固纱线提高其抗冲击性能是可行的。

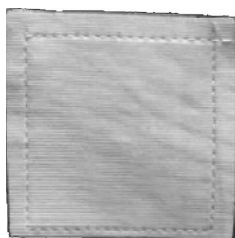
如图 2 所示,二维经编和纬编针织物在经纱或纬纱方向使用嵌纱,镶嵌纱线通过编织环固定在结构中以提高单轴针织物复合材料在镶嵌方向上的拉伸强度。

1.2 三维安全防护针织结构

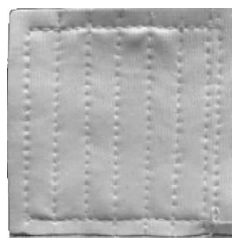
三维安全防护针织结构主要通过针织技术织出三维结构针织面料,目前所开发三维安全防护针织结构有多轴结构、间隔结构和负泊松比结构。

表 1 各种复合材料性能比较

项目	短纤维复合材料	连续纤维毡复合材料	针织增强复合材料	梭织或编织增强复合材料	多轴织物	单向层压板
刚度、强度	低—————→高					
层间断裂韧性	高—————→低					
复杂形状的可加工性	高—————→低					
材料及生产价格	低—————→高					



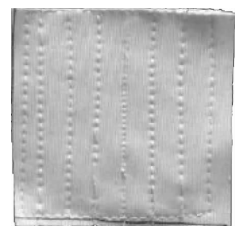
(a) 双层复合



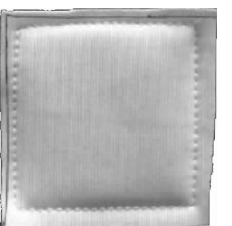
(b) 双层绗缝复合



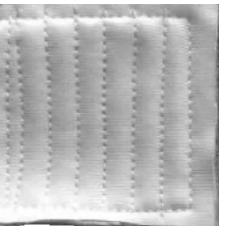
(c) 双层黏合衬复合



(d) 双层黏合衬绗缝复合



(e) 双层夹缓冲材料复合



(f) 双层夹缓冲材料绗缝复合

图 1 针织材料 6 种复合方式

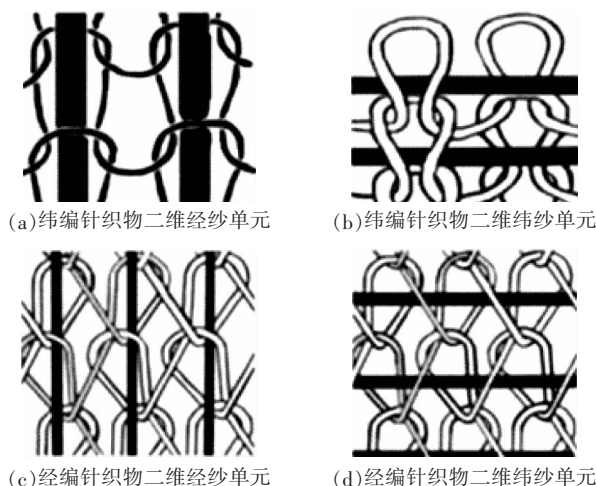


图2 用于抗冲击的二维纬纱和经纱铺设织物示意图

1.2.1 针织多轴结构

多轴结构由经纱(0° 纱)、纬纱(90°)和斜纱($\pm 45^\circ$)组成。如图3a所示,三维多轴经编织物将经纱和纬纱放在织物前表面,而斜纹纱放在织物后表面,它们通过使用低模量缝合线锁定,以提供所需结构的完整性^[11]。图3b是另一种三维多轴经编结构,包括4组纱线,分别为斜纱($\pm 45^\circ$)、经纱(0°)和纬纱(90°),所有层均由具有经编织物图案的缝合线固定^[12]。这些结构适用于刚性复合装甲,因多轴纤维取向可均匀分布整个结构冲击载荷。

1.2.2 针织间隔结构

间隔结构是由带或不带镶嵌物的纬编或经编织物作为顶面和底面组成的三维结构,如图4所示,该间隔结构中间由间隔纱连接在一起,间隔纱长度决定织物厚度,它对织物性能起重要作用,如高压缩性、透气性、抗冲击性和弹性回复性。这种弹性和高压缩性可使间隔织物吸收突然的冲击和高压,在冲击保护应用中有巨大潜力^[13]。

很多学者对一系列三维间隔结构织物进行研究。Liu et al^[14]将经编间隔织物用于体育活动中个人防护用品,得出三维结构间隔织物由于其间隔丝弹性,在冲击保

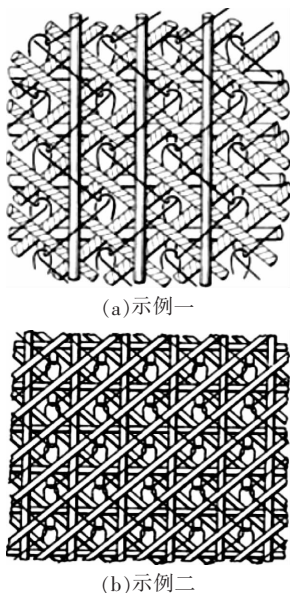


图3 三维多轴经编织物示意图

护、减压和摩擦应用中显示出良好前景。Nayak et al^[15]对三维间隔结构织物物理、机械和舒适性能进行研究,观察到三维间隔结构织物透气性和导热性与其密度密切相关。美国Dow Corning公司研发一款积极防护系统纺织品,如图5所示^[2],该纺织品是将硅树脂注入三维间隔结构织物结构中,通过控制注入硅树脂的量来控制透气性和弯曲性,既可保证产品透气性,又不会让身体活动受限制,可应用于摩托车及足球等户外激烈运动防护服上。

1.2.3 针织负泊松比结构

当拉伸或压缩材料时,垂直于

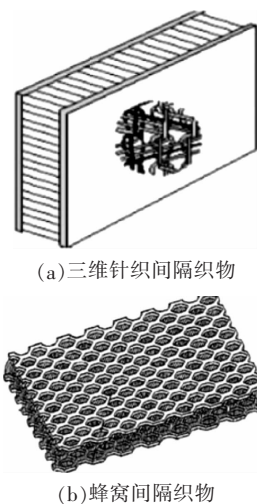


图4 间隔织物示意图

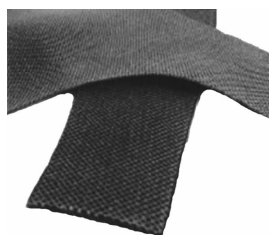


图5 Dow Corning 积极防护系统纺织品

拉伸或压缩方向的材料长度相应变宽或变窄,具有此种特性的结构称负泊松比结构。如图6所示,目前借助电脑横机实现三维纬编负泊松比^[16]的几何结构模型包括旋转结构、可折叠结构及双箭头结构,3种织物产生的负泊松比效应原理是利用正反针结合使正面线圈与反面线圈平衡,织物收缩成三维纬编结构,织物特性使三维负泊松比结构具备更优异能量吸收性,用于护腕、护膝、防弹服等防护服装。

综上所述,安全防护针织结构不仅有二维还有三维,不仅有纬编还有经编。通常二维针织结构具有各向异性,平面剪切阻力较差,相比三维针织结构具有更低模量。而二维针织复合材料由于在垂直方向缺少连接纤维或纱线,因此垂直于表面压缩性能较差。此外,与二维针织结构相比,三维针织结构由于整体结构有更高抗冲击性能、良

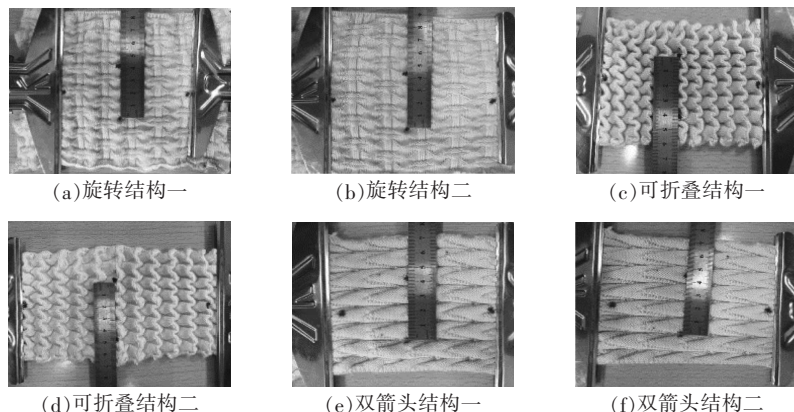


图6 三维纬编结构拉伸前后织物图

好压缩性和能量耗散性,因此三维针织结构比二维针织结构具有更好的发展前景。

2 针织结构在安全防护产品中的应用

针织由于其优异特性,在安全防护纺织品领域具有很大潜力,不仅可以制备护具用于局部防护,还可以制备头盔、防护服、手套和鞋材等,应用十分广泛。

如图7所示,负泊松比针织结构可应用于护肘、护膝的护具开发。当肢体弯曲时,负泊松比织物优异的表面贴合性使护具更好贴合肘部和膝盖形状,从而增加其保护性和身体部位运动自由度,良好的能量吸收性还可预防外界冲击,保护穿着者免受外部冲击。如图8所示^[17],三维针织间隔结构设计于膝盖前部,膝盖两侧用双层空气层结构,在电脑横机上全成形编织,试验证明该护膝佩戴在膝关节上,不仅穿戴更轻薄,而且当受外力冲击时,可有效对膝关节进行保护。

采用负泊松比针织材料还可代替头盔中的贴合层制作头盔,不仅比传统头盔更轻薄、吸能效果更好,而且穿戴热湿舒适性更好。如图9所示,Foster et al^[18]使用聚氨酯负泊松比针织面料作为运动头盔中的贴合层可有效减小冲击力。

如图10所示^[19],摔跤服和拳



图7 护具保护肢体部位

击服采用针织三维间隔结构并根据运动特点和运动需求分区设计制备而成。连接两个表层间隔纱采用弹性好且抗弯曲刚度较高的锦氨包覆丝来保持服装拉伸弹性,表面层采用运动服织物常用的锦纶、Coolmax及棉,开发出集防护性和舒适性于一体的防护运动服装。如图11所示^[20]是老年摔倒防护裤,以衬纬组织作为立体针织织物编织组织,用18.22 tex 棉纱、11.11 tex 白色橡筋线及33.33 tex 涤纶高弹丝作为纱线织造针织立体花型,达到缓冲防护效果。

三维针织女性防弹背心如图

12所示^[21],使用Kevlar(凯夫拉)高强度纱线,采用针织无缝技术制备,解决了因缝份带来的不舒适性,与传统防弹背心相比,热湿舒适性得到极大提高,且能有效提供必要保护,免受低水平刺伤威胁及外力冲击伤害。

手套除保护手之外,还要考虑手套长期使用的贴合性、柔软性和舒适度。为获得较高舒适性且具有防护效果的手套,可利用三维间隔织物,手套外层(不靠近皮肤)使用高性能纱线(如芳纶、超高分子量聚乙烯等),以起到防护作用,内层(靠近皮肤)使用舒适性较高的纱线(如Coolmax、Coollever等),以将汗液转移到外层,通过电镀技术制备而成^[22]。

安全防护针织结构还可应用于鞋类。带有减震作用的运动鞋除能缓冲地面冲击力,在穿着后也能减少对膝盖的伤害,还能发挥防扭转和保护膝盖的功能^[23]。运动鞋缓冲地面的冲击性能主要由鞋底材料和鞋底结构决定^[24]。Under Armour公司和Adidas公司开发了一款运动鞋,如图13所示^[25],采用负泊松比凹洞格子作为鞋面、鞋底,有助于鞋面形成圆拱形,增加鞋面贴合性和舒适性,此外,负泊松比凹洞结构使鞋面一片成形。Nike Free RN Flyknit 闭孔泡沫鞋底运动鞋是基于负泊松比旋转三角形结构开发的,穿着者在加速或改变方向时,鞋底可双轴增长,以提高牵引力和冲击能量吸收。

鞋垫对运动者穿着运动鞋时也有影响。合适的鞋垫能降低足部疼痛和穿着不适感,分散足底压力,减缓疲劳感,有助于提高鞋类运动舒适性。同时,人体足部对地面的冲击作用要求鞋垫能够延长作用力时间,从而降低足底受到

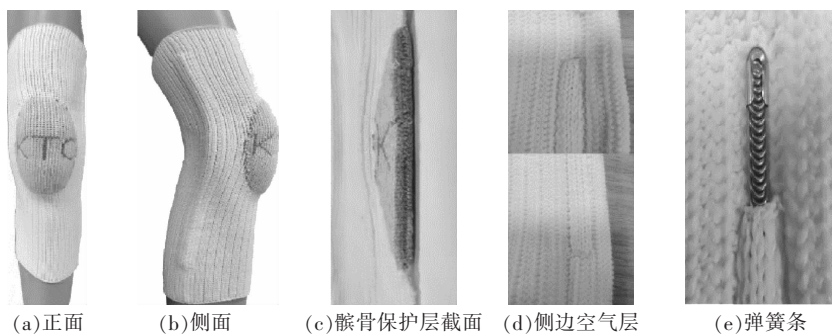


图8 全成形护膝实物图

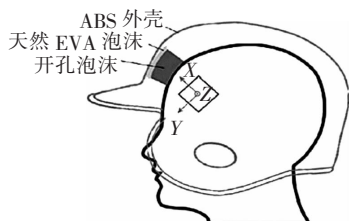


图9 头盔泡沫层位置



图10 摔跤服和拳击服

的撞击力峰值。三维针织间隔结构鞋垫材料具有良好的压缩性能和减震回弹性能,不仅能分散足底压力分布,特殊结构还能自动进行微气候调节,为足部营造良好热湿舒适环境,是一种理想的鞋垫材料^[26]。

3 针织安全防护纺织品发展前景

3.1 改进纤维、纱线和织物加工技术

由于超高强度纱线高刚性和剪切强度,即其抵抗高曲率能力低,导致针织过程困难。超高强度



图11 老年摔倒防护裤

纱制成的针织防护用品必须在带有沉降片的针织机上编织,纱线进入针钩时能安全固定纱线,并形成具有恒定张力的线圈。安全防护纱、织物制备要采取合理加工技术,对常规纺织品加工技术创新是必然的。

3.2 协调舒适性、防护性和美观性关系

二维单层安全防护针织纺织品的舒适性较高,但抗冲击性较



图12 3D 针织无缝女性防弹背心

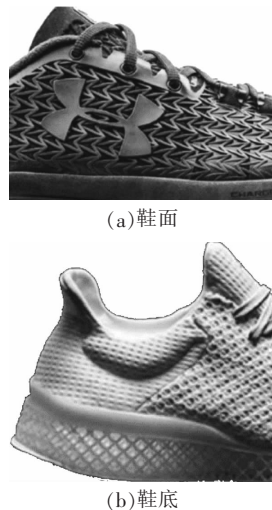


图13 负泊松比球鞋

低,因为针织物线圈相互串套,两相邻针脚共一根纱线,而线圈几何形状在很大程度上取决于纱线原材料^[27],超高强度纱线形成的线圈没有较高灵活性,在受到外力冲击时往往会形成一个孔洞而不会分散冲击力^[28]。三维间隔结构针织纺织品虽然抗冲击性能较好,但在贴合身体轮廓方面有很大挑战,当前已有的安全防护针织纺织品虽具备舒适性和防护性,但产品整体美观度有待提高。协调好舒适性、防护性和美观性关系可协同多领域开发研究,或优化针织安全防护与纺织品结合,优化结构设计等。

3.3 提高针织安全防护纺织品智能化水平

随着智能纺织品成为近年来的研究热点,微电子系统和智能纤维是当前研究热点。针织安全防护纺织品与微电子系统结合,能随自

然环境改变获取和分析有关信息,使针织结构自动调节达到安全保障;与智能纤维(如相变纤维)结合,可生产出舒适性能优异的防护产品。结合针织结构特点与当前科技发展,智能化与多功能化将是针织安全防护纺织品的发展方向。

4 结束语

随着安全防护用纺织品成为目前纺织行业研究热点,研究力度日趋增大。针织安全防护纺织品比其他材料具有更大优势,使用舒适性更高,可广泛应用于体育、消防、军事等领域的防护。未来研发的针织安全防护纺织品应兼具舒适性、美观性、功能化和智能化,有效预防损伤和降低人体受到冲击后的损伤程度,提高人们的使用体验感。

参考文献

[1]马丕波,孙亚鑫.针织结构材料在安全防护领域的应用研究进展[J].纺织学报,2019,40(6):177-182.
[2]GRAHAM B.防护与舒适并存的新型抗机械冲击防护服[J].纺织导报,2006(9):62-63.
[3]FLABARD X. Résistance à la coupe, à la perforation et au feu de structures textiles maillées [J].Bibliogr,2000(5):124-130.
[4]张少实,庄茁.复合材料与粘弹性力学[M].2版.北京:机械工业出版社,2011.
[5]LEONG K H, FALZON P J, BANNISTER M K. An investigation of the mechanical performance of weft knit milanorib glass/epoxy composites[J].Composites Science and Technology,1998(58):239-251.
[6]VERPOEST I, GOMMER B, GERT H, et al. The potential of the knitted fabrics as reinforcement for composites [C]//Proceedings of 11th International Conference on Composite Materials. Gold Coast, Australia: ICCM-11 Conference

Office,1997:108-133.
[7]LIM C T. Low velocity impact studies on a 4-ply knitted kevlar fabric reinforced epoxy composite[J].Journal of Reinforced Plastics and Composites,2002,21(2):121-138.
[8]蒋致禹.船舶护舷结构的碰撞研究[D].上海:上海交通大学,2010.
[9]阮兰.运动防护服装复合材料的碰撞防护性能研究[D].上海:上海工程技术大学,2016.
[10]马会英.针织纬编结构复合材料抗冲击性能的研究[J].上海纺织科技,1997(5):44-46.
[11]WILKENS C. Warp knitted ware with reinforcing thread: USA,4518640 [P].1985-05-21.
[12]WUNNER R. Apparatus for laying transverse weft threads for a warp knitting machine: USA,4872323 [P].1989-10-10.
[13]ERTEKIN G, MARMARALI A. Impact resistance behaviour of silicone coated warp knitted spacer fabrics used for protective clothing[J].The Journal of the Textile Institute,2017,108(12):2123-2131.
[14]LIU Y, AU W M, HU H. Protective properties of warp-knitted spacer fabrics under impact in hemispherical form[J].Textile Research Journal,2014,84(4):422-434.
[15]NAYAK R, KANESSALINGAM S, VIJAYAN A, et al. Impact resistance and comfort properties of textile structures for sportswear[J].Fibers and Polymers,2020,21(9):2147-2159.
[16]XU W L, SUN Y X, RAFIU K R, et al. Design and fabrication of novel auxetic weft-knitted fabrics with kevlar yarns[J].The Journal of the Textile Institute,2019,110(9):1257-1262.
[17]冯英杰.全成形针织运动护膝结构与性能研究[D].无锡:江南大学,2021.
[18]FOSTER L, PEKETI P, ALLEN T, et al. Application of auxetic foam in

sports helmets[J].Applied Sciences,2018,8(3):354.
[19]何玲.抗冲击无缝针织物性能研究与防护运动服开发[D].杭州:浙江理工大学,2015.
[20]王雅娴.老年摔倒防护服装的开发研究[D].上海:上海工程技术大学,2020.
[21]MAHBUB R, NAYAK R, WANG L, et al. Comfort properties of 3D-knitted seamless female body armour vests [J].The Journal of the Textile Institute,2017,108(11):1997-2005.
[22]ERTEKIN M, GOZD E. Characterization of cut resistance and comfort properties of protective gloves based on different materials[J].The Journal of the Textile Institute,2020,111(2):155-163.
[23]胡朝洋.结构设计对运动鞋减震及抗扭转功能的影响[J].中外鞋业,2017(11):28-30.
[24]魏全峨.篮球鞋鞋底结构与减震性能关系的研究[D].西安:陕西科技大学,2012.
[25]任鑫,张相玉,谢亿民.负泊松比材料和结构的研究进展[J].力学学报,2019,51(3):656-687.
[26]林温妮.个性化运动舒适型针织鞋垫的设计与研发[D].天津:天津工业大学,2021.
[27]MIKUCIONIENE D, ARBATAITIS E. Comparative analysis of the influence of bamboo and other cellulose fibres on selected structural parameters and physical properties of knitted fabrics [J].Fibers & Textiles in Eastern Europe,2013(21):76-80.
[28]FANGUEIRO R, CARVALHO R, SILVEIRA D, et al. Development of high-performance single layer weft knitted structures for cut and puncture protection [J].Journal of Textile Science & Engineering,2015(5):225-230.

收稿日期 2023年12月2日