

充气面料抗冲击性能及其应用

王伟¹, 李艳梅^{*1}, 王方明²

(1. 上海工程技术大学 纺织服装学院, 上海 201620, 2. 苏州市兴丰强纺织科技有限公司, 江苏 苏州 215228)

摘要:为探究充气面料对老年人跌倒能否起到缓冲作用,以及影响其抗冲击性能的因素。采用一款热压充气面料,利用医用假人对有无充气面料、不同面料花型及同一花型不同充气厚度的面料样品进行抗冲击测试。结果表明:充气面料能起到一定缓冲作用;不同的热压花型对充气面料的缓冲作用有较大影响;同一花型,受其形状大小和气室容纳的空气量影响,充气面料的抗冲击效果会呈现不同变化。根据实验结果选取最优充气面料,为老年人跌倒防护服装的开发提供一种新的思路。

关键词:老年人;充气面料;抗冲击性能;跌倒防护服装;缓冲保护

中图分类号:TS 941.731.6 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2021)06-0471-07

Impact Resistance of Inflatable Fabric and Application

WANG Wei¹, LI Yanmei^{*1}, WANG Fangming²

(1. School of Textiles and Fashion, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China; 2. Suzhou Xingfengqiang Textile Technology Co., Ltd., Suzhou 215228, China)

Abstract: In order to explore whether inflatable fabrics can cushion the falls of the elderly, and the factors affecting its impact resistance, a hot-pressed inflatable fabric was used, and the medical dummy was used to test the impact resistance of fabric samples with or without inflatable fabric, different fabric patterns and different inflatable thicknesses of the same pattern. The results show that inflatable fabric can play a certain buffering role, and different hot pressing patterns have great influence on the cushioning effect of inflatable fabrics. The same pattern, influenced by its shape and size and the amount of air contained in the air chamber, will show different changes in the impact resistance of inflatable fabrics. According to the experimental results, the optimal inflatable fabric is selected, which provides a new idea for the development of fall protection clothing for the elderly.

Key words: the elderly, inflatable fabric, impact resistance, fall protection clothing, cushioning protection

充气面料是一种在气室内充入空气的新型环保柔性材料^[1],可利用空气的压缩性和流动性起到缓冲防护作用^[2];此外,在具有一定保暖性的同时还可以减轻服装质量。文中主要研究充气面料的抗冲击性能,同时以老年人防跌伤服装开发为例研究其应用价值。

目前,国内外有关充气面料影响因素的研究主要包括面料充气量、透气性^[3]、气室内气压、面料结构形状^[4]、力学性能^[5]、充气面料蠕变性^[6]等,其中面料充气量、面料结构形状是影响充气面料抗冲击性能的主要因素。但在国内外研究成果中对将充气面料应用于防摔服装上的理论和设计研究较

收稿日期:2021-08-21; 修订日期:2021-11-17。

基金项目:国家自然科学基金项目(11802171);闽江学院现代服装技术协同创新开放基金项目(MJKFFZ201702);上海工程技术大学研究生科研创新项目(20KY0911)。

作者简介:王伟(1994—),男,硕士研究生。

*通信作者:李艳梅(1974—),女,教授,硕士生导师。主要研究方向为服装材料及高性能服装研发、数字化服装技术应用。

Email:lym0350@126.com

少^[7],大多集中在跌倒监测和充气面料触发系统等单一功能设备方面。如史晨琛等^[8]使用尼龙材质的充气面料,结合跌倒检测系统,设计了一款老人防摔腰带,既满足老人对安全防护的需求,又顾及人体对服装舒适度的要求,提高了服装的安全性和舒适性。杨俊飞^[9]着眼于充气面料结构,设计了一款老人髌部保护器,使该髌部保护器更贴近髌部,提高与人体曲面的贴合度。张文龙等^[10]根据汽车安全气囊的防护原理,设计了一款老年髌部防护气囊,监测跌倒行为,在老人跌倒前展开充气囊,起到减震缓冲作用。李子丹等^[11]从面料选择和结构设计出发,兼顾服装的舒适性、抗菌性及抗冲击力等因素,结合人体工学和高新技术,使用充气面料设

计了一款老年防摔马甲,全方位保障老年人安全。文中选用苏州兴丰强纺织科技有限公司研发的充气面料,研究不同充气花型和充气厚度面料的抗冲击性能,并在优选面料的基础上,将充气面料与老年人日常穿着服装相结合,为老年人防跌伤功能服装的开发提供新的思路 and 参考。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

1.1.1 材料 实验用充气面料试样由面料底布和覆膜组成,由苏州兴丰强纺织科技有限公司研发生产,具体说明见表 1。

表 1 充气面料组成
Tab.1 Composition of inflatable fabric

名 称	组成部分	性 能	规 格
底布	100% 高密涤纶 春亚纺布	透气性能弱,抗风闭气效果较好	平纹组织,纱支为 450 tex×450 tex,线密度为 300 kg/m,覆膜前面密度为 45 g/m ² ,覆膜后面密度为68 g/m ²
覆膜	无孔 TPU 薄膜	环保材质,耐磨、耐油、耐溶剂、耐一般化学品、耐低温,优良的防水性和拉伸性能 ^[12]	薄膜厚度为 0.015 mm,在温度为 80 ~ 120 ℃ 条件下可将薄膜与面料压合

为了研究面料花型及充气厚度对充气面料抗冲击性能的影响,选取 5 种花型的测试样品。采用 FH-PUR 热熔胶复合机按照底布—覆膜—覆膜—底布组成方式将薄膜与面料压合,覆膜间不黏合,再使用公司胶合专利技术热压出面料花型,按照热压轨迹形成六边形、短横条纹、斜条纹、长横条纹及圆点 5 种花型,具体如图 1 所示。5 款充气面料的基本参数见表 2。

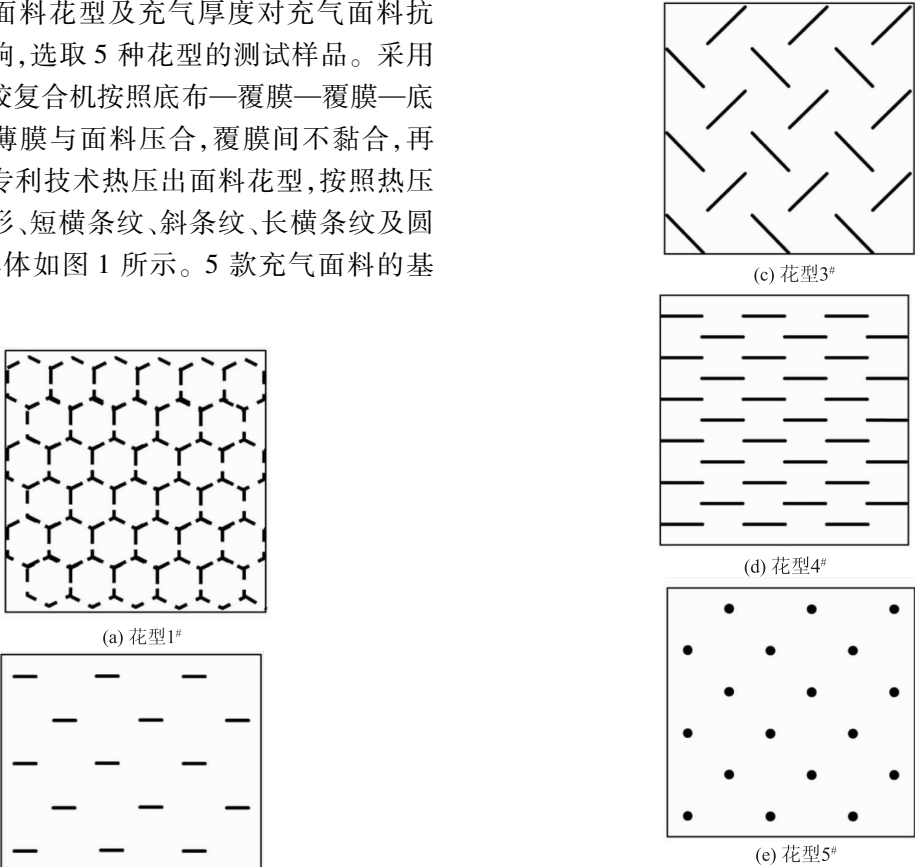


图 1 面料花型
Fig.1 Fabric pattern

表 2 基本参数
Tab.2 Basic parameters

充气面料编号	花 型	尺寸/cm
1 [#]	六边形	40×40
2 [#]	短横条纹	40×40
3 [#]	斜条纹	40×40
4 [#]	长横条纹	40×40
5 [#]	圆点	40×40

1.1.2 仪器 实验用试样测量仪器、用途及使用 方法见表 3。

表 3 实验仪器
Tab.3 Experimental equipment

仪器名称	生产厂家	用 途	使用方法
AM6800 测力台	加拿大 NDI 公司	测量医用假人跌倒时作用在充气面料上的冲击力	连接测力台和计算机,进行冲击实验,通过测力台同步收集髌部对测力台的三维冲击力
BZ-H2000 医用假人	上海柏州科教设备有限公司	模拟老人跌倒实验	将充气面料贴在假人髌部,模拟老人跌倒时对测力台的冲击力
YG141LA 织物厚度仪	宁波纺织仪器厂	测量充气面料充气时的厚度	将不同充气量面料放在参考板上,将平行于该板的压脚置于面料中心,测量并记录两板间的垂直距离,即为面料厚度
I 型 PVC 充气球	云南晨业医疗器械有限公司	为充气面料充气	连接 PVC 充气球和乳胶管,再接入面料充气口

1.2 充气面料的抗冲击性能指标

物体从高处跌落到地面的瞬间与地面的接触作用力^[13]为

$$F=m\frac{dv}{dt}$$

(1)

式中: F 为物体与地面的作用力; m 为跌倒物体的质量; dv 为物体与地面碰撞时的瞬时速度; dt 为碰撞时间。

由式(1)可知,冲击力与物体的质量、冲击时的瞬时速度及碰撞时间有关,当碰撞时的瞬时速度一定时,跌落时间越长,冲击力 F 越小。一般情况下,人体正常行走时跌倒的速度小于 10 m/s,即属于低速跌倒冲击^[14]。

人体跌倒过程中,髌部触地瞬间的冲击力最大,充气面料作为防护层发生反弹,地面对其产生作用力,使充气面料变形起到缓冲作用,剩下的力再对人体做功。因此,充气面料能减小人体髌部所受的冲击力,其公式为

$$F_{抗冲击}=F_{无面料}-F_{有面料}$$

(2)

式中: $F_{无面料}$ 表示无充气面料时髌部触地的最大冲击力值; $F_{有面料}$ 表示有充气面料时髌部触地的最大冲击力值; $F_{抗冲击}$ 表示缓冲吸收和分散的外力,为有无缓冲材料的最大冲击力差值。

$F_{抗冲击}$ 值越大,代表充气面料吸收和分散外力的能力越好,缓冲效果越好,人体所受伤害就越小。因此,可将 $F_{抗冲击}$ 作为充气面料抗冲击性能优劣的依据。

充气面料的抗冲击性能主要反映面料的能量分流和能量吸收效果^[15]。假人与测力台碰撞时所受的冲击合力为

$$F_{合}=(F_x^2+F_y^2+F_z^2)^{\frac{1}{2}}$$

(3)

式中: F_x,F_y,F_z 分别为假人在测力台 X,Y,Z 方向上所受的分力。其中 F_z 对应物体跌落的垂直程度,具有特别研究意义。

1.3 实验方法

1.3.1 充气面料厚度测试 设置温度 $20\pm2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度 $65\%\pm5\%$ 的室温环境,将面料试样在此

环境下静置 4 h 后,使用织物厚度仪测量不同充气量下的面料厚度。将乳胶球与胶管一端连接,另一端接入面料充气口,手动给充气面料充气。为保证充气面料厚度测量的准确性,当充气面料充入一定量的空气后,在其上下各放入一块亚克力板(边长 40 cm、厚度 4 mm),再用织物厚度仪测量面料试样和亚克力板的总厚度,最后减去 2 块亚克力板的厚度即为面料试样的充气厚度。在相同条件下测量 3 次,取平均值。各充气面料分为 3 种厚度(10, 20, 30 mm)。在测量过程中需注意 2 点:①整个实验过程中厚度的测量均在亚克力板平压的情况下测量,测得的样品厚度为充气样品的平均净厚度;②气压值测量时可以忽略连接充气胶管和气压测试仪器时泄露的微量气体。

1.3.2 充气面料抗冲击性能测试 在室温 $20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $65\% \pm 5\%$ 的环境下,将面料试样充气后,固定在医用假人的髌部,使面料与假人髌部间无缝隙,确保碰撞测得数据的准确性。同时,将医用假人倾斜摆放,使假人髌部与测力台保持 85 cm 高度,以便模拟老人摔倒方式,释放假人,使假人自然跌倒,髌部冲击测力台,连接计算机同步采集数据并记录跌倒测试过程中的时间、冲击力值等。实验过程中,取不同充气厚度面料的试样进行 3 次冲击实验,实验结果取其平均值。

2 结果与讨论

2.1 充气面料抗冲击性能表征

假人模拟老人跌倒时的冲击力和时间关系曲线如图 2 所示。由图 2 可知,随着时间的推移,假人在测力台上受到的冲击力呈上升状态并达到峰值,峰值过后,冲击力随之又逐渐减小,并趋于平缓状态。冲击力越大,说明充气面料的抗冲击性能越差。

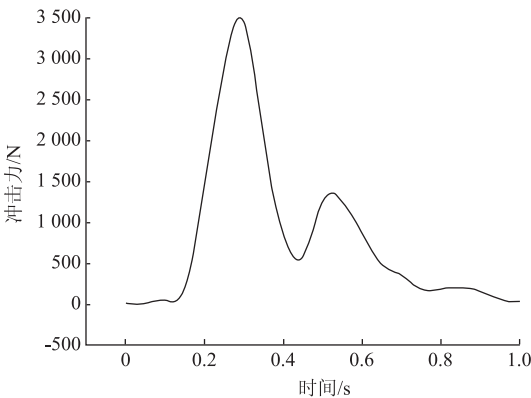


图 2 老人跌倒时的冲击力和时间曲线
Fig.2 Impact force and time curve when an old man falls

综上,文中主要以冲击力峰值来表征充气面料的抗冲击性能,即指发生碰撞时,充气试样在测力台上的瞬时反作用力,通过比较不同花型、不同充气厚度的充气面料受到碰撞时的冲击力峰值大小,判断充气面料本身的抗冲击性能。

2.2 充气面料的抗冲击性能

此次实验中,设置一组无充气面料的对照组。假人跌倒时髌部触地的最大冲击力及 $F_{抗冲击}$ 值计算结果见表 4。假人跌倒时髌部触地 $F_{抗冲击}$ 值变化图如图 3 所示。

结合表 4 和图 3 可知,充气厚度在 10, 20, 30 mm 下的 $F_{抗冲击}$ 值均大于 0,即髌部触地时,有面料的最大冲击力均小于无面料时的最大冲击力,说明充气面料具有一定的缓冲作用。充气面料对髌部均起到了明显的保护作用,证明利用充气面料实现了人在跌倒情况下的缓冲防护效果,实验具有可行性。

表 4 最大冲击力及 $F_{抗冲击}$ 值计算结果
Tab. 4 Calculation results of maximum impact force and $F_{impact\ resistance}$

面料编号	厚度/ mm	最大冲击力/N	$F_{抗冲击}$ 值/N
0 [#]		3 438.62	
	10	1 974.40	1 464.22
1 [#]	20	924.00	2 514.62
	30	1 148.07	2 290.55
2 [#]	10	2 653.99	784.63
	20	2 488.03	950.59
	30	1 982.12	1 456.50
3 [#]	10	2 475.24	963.38
	20	2 267.30	1 171.32
	30	1 846.63	1 591.99
4 [#]	10	2 087.80	1 350.82
	20	1 550.95	1 887.67
	30	1 232.55	2 206.07
5 [#]	10	2 233.87	1 204.75
	20	2 002.03	1 436.59
	30	1 637.01	1 801.61

注:0[#]表示无充气面料;厚度指面料充气后凸起高度。

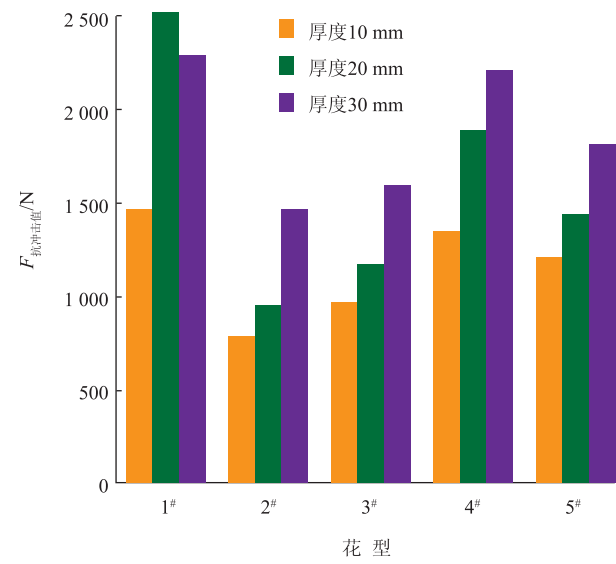


图3 髋部 $F_{抗冲击}$ 值变化

Fig.3 Changes in hip $F_{impact\ resistance}$

2.3 花型对充气面料抗冲击性能的影响

花型不仅会阻碍肢体的弯曲,影响服装本身的装饰效果,及服装的外观造型^[16](如微胖人群穿着宽横条图案充气服装会增加人们视觉上的横向宽度),同时也会影响充气面料的抗冲击性能,因为空气具有流动性,充气结构中的空气会随着跌倒碰撞发生点位气压移动现象,故而起不到缓冲减震作用。对5种花型在10,20,30 mm充气厚度条件下进行跌倒实验,观察最大冲击力的变化情况,结果如图4所示。

由图4可知,5种花型面料的冲击曲线类似,均在0.45~0.55 s内达到最大值,冲击力大小依次为花型2#>3#>5#>4#>1#。在同一充气厚度不同花型下,充气面料的最大冲击力有较大差异,根据缓冲效果与最大冲击力相反原理,5种花型的缓冲效果依次为花型1#>4#>5#>3#>2#,说明花型对充气面料的最大冲击力有一定影响,充气面料的防护效果会随着花型的变化而变化,且变化幅度较大。

花型对充气面料抗冲击性能的影响主要表现在花型的形状和热压点密度方面。如花型2#,4#的热压点密度小,间距较大,花型呈大块条状气囊;而花型3#,5#的热压密度虽较大,但热压间距大,充气后形成大块气室,使得充气面料在冲击碰撞过程中,气室内的点位气压随着空气流动发生大幅度移动现象,降低抗震缓冲作用;只有花型1#的热压点密集、间距小,充气后花型形状紧凑,在受到地面冲击时能较好地分散冲击力,达到良好的抗冲击效果。

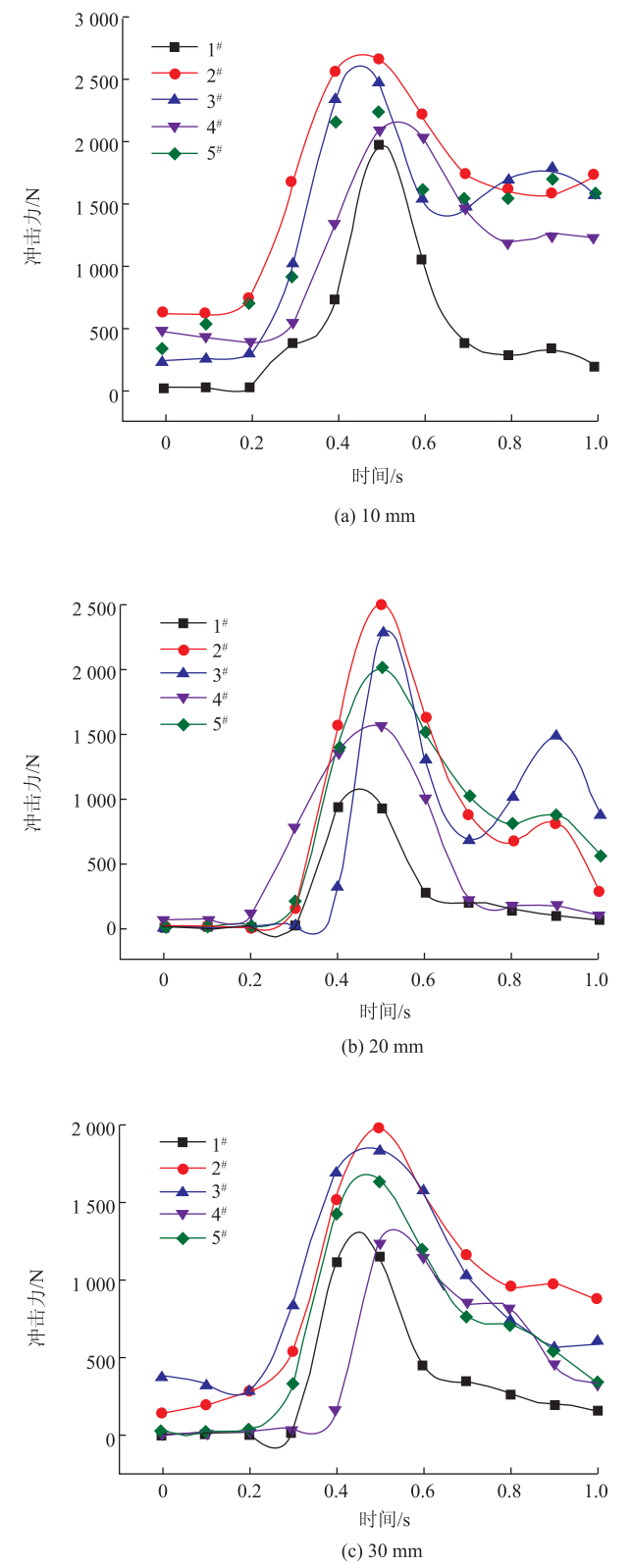


图4 不同充气厚度下花型1#~5#冲击力与时间曲线

Fig.4 Impact force and time curve of pattern 1# to 5# under different inflation thickness

上述5种花型面料中,花型1#的抗冲击性能较佳,花型2#的抗冲击性最差。综上可得,充气面料

的抗冲击性能与其面料花型有一定的相关性。

2.4 充气厚度对充气面料抗冲击性能的影响

充气面料的充气量直接影响其抗冲击性能,充气量太小起不到抗冲击作用,充气量太大会使充气面料的刚性增大,从而降低其抗冲击效果。因此,在一定范围内,增加充气量会提高充气面料的抗冲击效果,具体结果如图 5 所示。

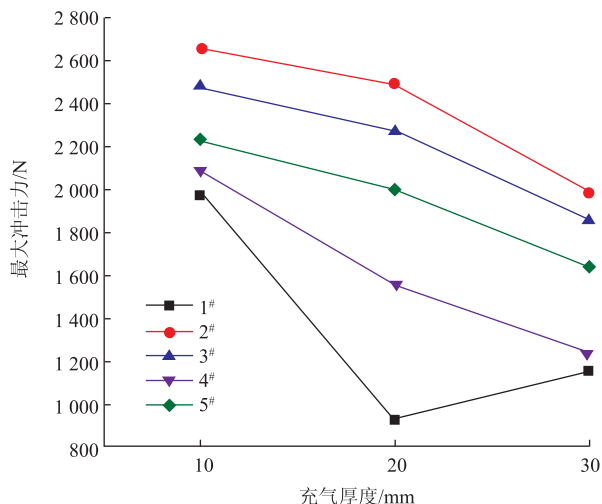


图 5 5 种花型的最大冲击力与充气厚度曲线

Fig.5 Maximum impact force and inflated thickness curve of five flower types

由图 5 可知,除花型 1#外,其他 4 种花型的最大冲击力和时间曲线趋势类似,均呈下降趋势,且在充气厚度为 20 mm 时无明显变化。而花型 1#在充气厚度为 20 mm 时有较大影响,主要体现在花型形状大小和气室容纳的空气量方面,充入空气越多,气室独立性越强,各单元气室间不能形成有效的串联作用,从而降低减震缓冲作用。另外,由于气室形状及空间大小的限制,面料会随着气室内空气量的增加变得硬挺,由柔性变成刚性,降低面料的抗冲击性能。在相同实验条件下,随着充气厚度的增加,气室空间膨胀速度增大,花型间密度变大,形状紧凑,所能吸收和分散的能量也越来越多。总体而言,花型充气气室密度越大,形状越小且紧密,面料的抗冲击效果越好。

综上所述,花型 1#在充气厚度为 20 mm 时的抗冲击效果最好,在其他基础因素不变的情况下,充气面料的抗冲击性能与其厚度相关。综合考虑面料花型及充气厚度对抗冲击性能的影响,在老年人跌倒防护服装开发方面可选用花型 1#、充气厚度为 20 mm 的面料。

3 结 语

通过对充气面料的抗冲击性能分析,验证了充气面料具有一定的缓冲效果。而充气面料的抗冲击性能测试结果表明,花型对充气面料的抗冲击性能具有一定的影响,充气面料的防护效果会随着花型的变化而随之变化;在同面料花型条件下,受到花型形状大小和气室容纳的空气量影响,充气面料的抗冲击效果会呈现不同的变化。总体而言,花型形状及充气厚度的变化对面料抗冲击性能的影响在实际服装应用时可以作为充气面料选择的依据,以便做到面料在服装设计及应用中合理、可靠、适度。因此,可以通过优化设计服装款式、改变服装结构、加固压胶部位、改变花型形状和热压点密度等方式提高充气防护服装的抗冲击性能,使产品性能得到进一步完善,增加产品的安全性和实用性。

参考文献:

- [1] 巩桂芬,刘萌沛. 充气垫缓冲材料破损强度研究[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版),2015,33(3):149-153.
GONG Guifen, LIU Mengpei. Research on the damage strength of the cushion material of inflatable cushion[J]. Journal of Shaanxi University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2015, 33(3): 149-153. (in Chinese)
- [2] 李凤. 可穿戴式防挤压气囊功能服设计研究[D]. 重庆:西南大学,2020.
- [3] 刘春娜,王新厚. 安全气囊织物动态透气性的测试研究[J]. 测试技术学报,2007(5):396-399.
LIU Chunna, WANG Xinhou. Test research on dynamic air permeability of airbag fabric[J]. Journal of Testing Technology, 2007(5): 396-399. (in Chinese)
- [4] 诸文旒,祝国成. 安全气囊织物发展现状[J]. 现代纺织技术,2021,29(3):40-44.
ZHU Wenni, ZHU Guocheng. Development status of airbag fabrics[J]. Modern Textile Technology, 2021, 29(3): 40-44. (in Chinese)
- [5] 方一芳,蒋世祥. 安全气囊织物的研制与开发[J]. 丝绸,2000,45(11):28-32.
FANG Yifang, JIANG Shixiang. R & D of safety gas cell fabrics[J]. Silk, 2000, 45(11): 28-32. (in Chinese)
- [6] 郭静,康勇刚. 充气垫缓冲材料动态冲击性能评价[J]. 包装工程,2014,35(1):73-76,91.

GUO Jing, KANG Yonggang. Dynamic impact performance evaluation of inflatable cushion materials[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(1): 73-76, 91. (in Chinese)

[7] 李琴. 气囊式防摔功能服设计研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.

[8] 史晨琛, 李浩楠, 王子洋, 等. 老人防摔腰带的设计与实现[J]. 电子世界, 2021(2): 190-191.

SHI Chencheng, LI Haonan, WANG Ziyang, et al. The design and realization of the old man's anti-fall belt[J]. Electronics World, 2021(2): 190-191. (in Chinese)

[9] 杨俊飞. 髌保护缓冲气囊侧方跌倒防护性能的仿真研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2016.

[10] 张文龙, 屈纯, 付文斌, 等. 穿戴式老年人跌倒防护气囊系统设计[J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(15): 3832-3836.

ZHANG Wenlong, QU Chun, FU Wenbin, et al. Design of wearable fall protection airbag system for the elderly[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2018, 38(15): 3832-3836. (in Chinese)

[11] 李子丹, 王秋寒. 老年人智能化防摔马甲设计[J]. 服饰导刊, 2021, 10(1): 82-86.

LI Zidan, WANG Qiuhan. Design of intelligent fall proof vest for the aged[J]. Fashion Guide, 2021, 10(1): 82-86. (in Chinese)

[12] 邢利兵, 李显波, 张连坤, 等. 高分子功能膜 TPU 与 PTFE 服用性能研究[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2016, 31(3): 123-126.

XING Libing, LI Xianbo, ZHANG Liankun, et al. Study on polymer functional film wearability properties of the PTFE and TPU[J]. Journal of Qingdao University (Engineering and Technology Edition), 2016, 31(3): 123-126. (in Chinese)

[13] 郑秀媛. 现代运动生物力学[M]. 2 版. 北京: 国防工业出版社, 2007.

[14] 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.

[15] VAN SCHOOR N M, VAN DER VEEN A J, SCHAAP L A, et al. Biomechanical comparison of hard and soft hip protectors, and the influence of soft tissue[J]. Bone, 2006, 39(2): 401-407.

[16] 李艳梅, 王伟. 老年防跌伤材料应用及防护服装发展趋势[J]. 服装学报, 2021, 6(3): 189-195.

LI Yanmei, WANG Wei. Application of protective materials for falls in the elderly and development trend of protective clothing[J]. Journal of Clothing Research, 2021, 6(3): 189-195. (in Chinese)

(责任编辑: 张雪)