

# 应用 D2027 型柔性压力传感器的运动服装设计

杨晓红, 韩志清, 胡雪睿, 张敏

(西南大学 纺织服装学院, 重庆 400715)

**摘要:**为了满足人们日益增长的运动需求和适应服装智能化发展大环境,通过查阅文献,总结运动过程中身体易损伤部位,在紧身运动服相应部位置入柔性压力传感器,运用特定电路、无线通信技术和数据处理系统将人体与服装之间的压力变化转化为在终端显示设备中的数据,结合服装结构设计和面料选取进行了整体设计。研发了既满足身体舒适性要求又可以达到运动者自我监测和运动规划的智能服装,在满足服装功能性基础上实现了智能化应用,有助于人们更直观地了解自身运动状况。

**关键词:**柔性压力传感器;运动服;紧身;智能;设计

**中图分类号:**G818.4;TP212.9

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-0356(2021)01-0023-04

在全民运动的大环境下,人们对身体健康的要求更加具体和迫切。从2014年开始,中国运动服饰市场规模逐年上升,服装智能化应用成为研究热点。紧身运动服在着装过程中有助于维持运动能力,增强运动效果,成为人们运动中的常用服装。文中将紧身运动服与柔性压力传感器结合,通过压力传感、信号转换和数据处理等技术设计出智能运动服,使其在满足运动需求的基本前提下实现对人体运动情况的智能监测。

## 1 紧身智能运动服发展现状

随着全民运动趋势的不断发展,人们在运动方面的认识和投入不断增加。作为运动专业性装备的运动服市场也整体呈现出服装细分化、专业化和智能化三大趋势。在一些登山服和滑雪服等专业性功能服装方面,俱乐部、线上应用和协会成为更专业的平台。中国运动服装市场份额在不断上升,但人均消费数额与全球相比仍有较大发展空间。

据统计,从2014年开始,中国运动服饰市场规模逐年上升,2018年达到五年来市场最高规模401亿美元,与2017年同期相比增长了19.5%,预计未来五年行业的平均增速将超过10%(见图1)。

在中国运动服市场规模不断扩大的情况下,智能化服装应用也拥有较大的潜力和市场空间。通过调研国内主流购物平台,可以看出,市场中已有的智能运动服产品主要集中在智能温度控制、心率监测、快速干燥

等方面。其中智能温控是采用碳纳米管薄膜电加热技术来实现控温、安全、舒适的穿着目的;心率监测是在服装袖口安装心率检测芯片并配合智能APP实时监测运动者的心率情况;快速干燥主要是从面料方面进行设计改造。

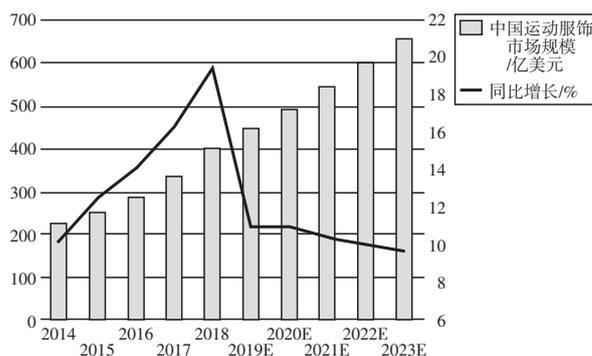


图1 2014-2023年中国运动服饰市场规模情况  
(图源:前瞻数据产业研究院)

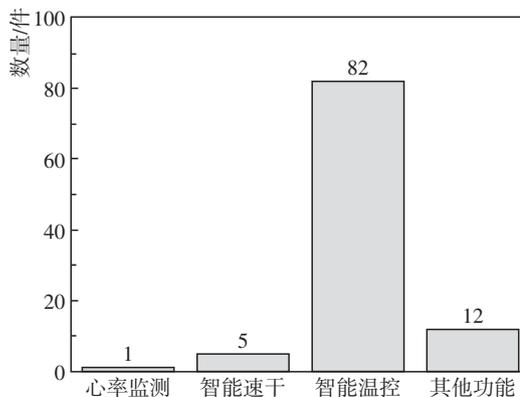


图2 天猫智能运动服搜索结果

以天猫搜索智能运动服结果为例(见图2),默认排序前100件商品中,无关商品12件,在其余88件商品

收稿日期:2020-08-06

基金项目:2019年西南大学大学生创新创业训练项目:可穿戴式防挤压气囊功能服的研究(X201910635081)

作者简介:杨晓红(1995-),女,硕士,主要从事服装基础理论与智能应用方面的研究。

中,智能温控服装占统计总量的 82%,其主要是通过 USB 连接充电宝进行电量输送,进而进行温度调控;速干智能服装占统计总量的 5%,其主要是通过服装材料和结构实现其功能性;智能心率监测服装占统计总量的 1%,是通过安装智能芯片,搭载移动端 APP 实现运动者心率情况的实时监测,为健康保驾护航。

市场中已有的智能服装主要集中在温度控制方面,还不能满足人们运动中的多样化需求。提高运动服装功能性可以更好地监测和保护人体健康。压力传感器是可穿戴装备的必要部件之一<sup>[1]</sup>,将柔性压力传感器和运动服装结合,设计出基于压力传感的紧身运动服装,可以使穿着者更客观地了解自己的运动状态,及时调整自己的运动计划和目标,达到健康运动的目的。

## 2 柔性压力感应系统设计

D2027 型柔性压力传感器是由薄膜接收人体压力而产生形变,进而影响可变电阻电阻值,在电路中通过电阻值变化影响输出电压的变化,通过无线传感系统将电压变化传输到数据处理系统,再通过特定算法将电压变化值转化为直观可读的人体变化数据,最后通过终端显示设备呈现给用户的<sup>[2]</sup>。

### 2.1 柔性压力传感器

GB/T 7665-2005 中将传感器定义为“能感受被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成”。传感器是对外界信息进行捕捉的装置,其通常与测量电路共同构成将被测物理量转换成电参数的装置,然后将信息传输到与之对应的单片机,实时进行信息的进一步处理。压阻式压力传感器利用具有较强过压能力的半导体材料制成,因半导体材料高强度、反应快等优异的机械性能,压阻式压力传感器感应更加灵敏和精确。

随着电子元器件的小型化,薄而柔性传感器的出现,使得这些新型电子元器件与传统纺织品相组合呈现新的可能性,其也可以与功能纤维及其纺织品相结合<sup>[3]</sup>。除了传统的把服装表面或内部作为支撑结构,将纤维状导电材料或传感元件嵌入其中外,改变服装材料本身即使用导电材料涂层织物,使织物具有导电能力也成为一种新的方式。

文中采用 D2027 压阻式柔性薄膜压力传感器,其长度小于 8 cm,可根据用途缩短使用,宽 2.7 cm,是柔性压力传感器中的一种,根据其结构特点可适用于运动、健康、

安全监控、工业检测等方面。其抗电磁干扰和静电属性良好,可将传感器安装在服装特定部位,如肘关节、膝关节、臀部等处用于监测人体运动过程中具体部位的压力分布和变化。以下是 D2027 压阻式柔性薄膜压力传感器具体尺寸(见图 3)和使用参数(见表 1)。

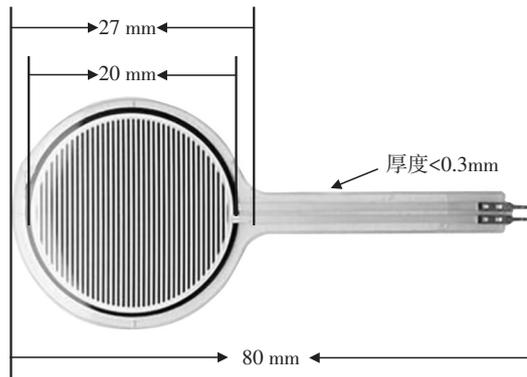


图 3 传感器尺寸

表 1 D2027 柔性压力传感器使用参数

| 参数       | 数值      | 备注        |
|----------|---------|-----------|
| 量程/kg    | 0.5~100 | 非固定值      |
| 静态电阻/MΩ  | >10     | 与量程有关     |
| 感知触发/kg  | 量程 * 2% | 压力仅作用于感应区 |
| 迟滞性/%    | <5      | 物理属性      |
| 漂移/%     | <6      | 物理属性      |
| 工作电压/V   | 3-5     | 视情况而定     |
| 响应时间/ms  | <10     | 物理属性      |
| 数值稳定时间/s | <5      | 聚合物物理属性   |
| 使用寿命/次   | >50 万   | 正向压力循环测试  |

### 2.2 传感系统流程设计

紧身运动服传感流程设计联合应用了传感器系统、无线通信、处理软件开发等技术,通过移动端和电脑端显示设备,使用户可以实时了解人体运动情况,实现自我健康监测和调整运动计划。

智能传感系统将传感器采集的数据通过转换处理器转化为可传输的数据,结合无线通信技术将接收的电信号变化发送至上位机,实现压力数据的收集和传递;当数据传输到上位机后会通过固定算法对数据进行处理和存储;最后将处理结果传输至终端显示设备,实现人机单向交互的目的<sup>[4]</sup>(见图 4)。其中上位机系统会设定提醒范围值,在进行数据处理传输到终端显示设备的同时,若数值超过预设范围,会触动预警系统,达到对人体运动的监测及警示作用。

传感模块整体是将在运动过程中由于人体动作变化对柔性压力传感器产生不同的压力转化为不同的电阻变化值  $R_s$ ,在接通电源  $V_T$  的基础上,通过传感电路将其输入电阻变化值  $R_s$  转换成输出电压变化值  $V_{OUT}$ ,

即可传输的电信号数据  $V$  (见图 5)。

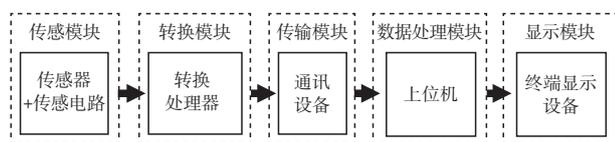


图4 传感系统流程

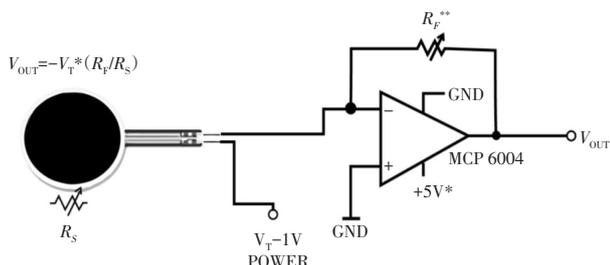


图5 传感模块内部结构

以此传感电路为基础,结合无线通信技术将电压变化数据  $V$  传送至具有特定算法的上位机中,经过预设程序得出人体运动状况。最终在移动端显示设备中进行结果显示,当使用者收到信息后会更加了解自身的运动状态,并进行适当地调整,完成人机交互的最终目的。

### 3 智能紧身运动服装设计

紧身运动服装以身体为模型设计,其与人体贴合穿着的结构特点,可以更准确直观地感受人体运动的形态变化;将柔性压力传感器置于服装中,可以实现运动过程中对人体健康状况的实时监测。

在软件系统和硬件设施已经完善的基础上,通过文献调研统计在运动过程中容易受伤的人体部位,结合 D2027 型柔性压力传感器的物理特征,从结构和面料方面出发,设计出适合运动者穿着,可以更好监测运动状况的运动装备。紧身运动服整体造型展示如图 6 所示。



图6 紧身运动服整体设计

#### 3.1 感应部位分析

运动损伤中膝关节损伤率可达到 25%~30%,约占人体损伤的四分之一<sup>[5-10]</sup>。膝关节是运动过程中的主要稳定关节,其主要生理活动为屈伸,范围为  $0^\circ \sim$

$180^\circ$ <sup>[11]</sup>,在弯曲的过程中会与服装表面产生一定的压力作用。在日常运动中,由于膝关节运动量和运动频率较大,易出现运动性损伤<sup>[12]</sup>。加强膝关节运动强度的监测,对保护膝关节和防止运动损伤有积极意义。

肘关节是将上臂和前臂连接,并保证可以自由伸屈 ( $40^\circ \sim 180^\circ$ ) 和旋转 ( $140^\circ$ ) 的重要关节<sup>[13]</sup>,也是运动过程中,保证手部用力及运动水平的重要关节之一。只有保持肘关节功能完整健康,手和手臂才能良好发挥其功能。在骨科临床中肘关节损伤是常见的关节损伤疾病,任跃兵<sup>[14]</sup>指出 45 000 例骨伤病例中肘关节损伤占 14%,占有骨关节损伤的首位。由于肘关节解剖特性,如果造成功能性损伤,需要很长时间恢复。通过在运动服装中安装柔性压力传感系统,可以有效进行预防和监测训练强度,避免关节的局部负荷过重,有效减少损伤的发生。

人体由关节连接在一起,在运动中与服装表面产生明显的压力作用多集中在肘、膝盖、臀等活动量较大的部位。结合文献研究结果并基于运动动作的普遍性和智能服装运动监测的适用性,选择将柔性压力传感器安装在上身肘关节尺骨末端表面和下身膝盖髌骨表面(见图 7)。

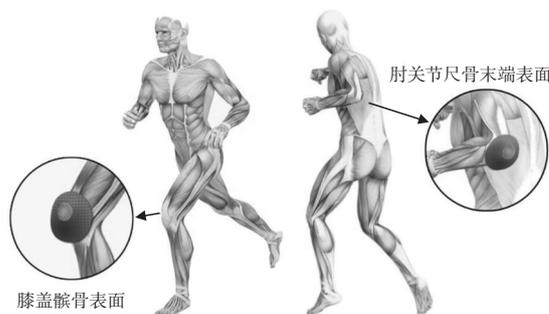


图7 感应部位

#### 3.2 运动服装结构设计

结合紧身服装特点和运动舒适性需求进行服装整体结构设计。与其他运动服相比,紧身运动服更突出人体特点,在设计中以身体为模型进行设计。由于面料的高弹力特性,在设计中通过分割和面料差异来满足其造型需求。

##### 3.2.1 领、袖部位

服装领部在运动中要满足各种动作的服装贴体度,为了保障运动过程中的舒适感和无束缚感,设计为圆领造型,在保障运动舒适安全性基础上,尽可能提高服装美化形体的程度。在运动过程中会进行大范围的肢体舒展,袖窿结构会极大地影响运动幅度,在服装设

计中既要保障最大程度的运动幅度,又要保证在正常行走过程中的适体性,故选择插肩袖,袖口设计露指环形袖(图8)。贴体类服装环形袖能保持穿着活动中衣袖平整,并减少手部在运动中的摩擦伤害。

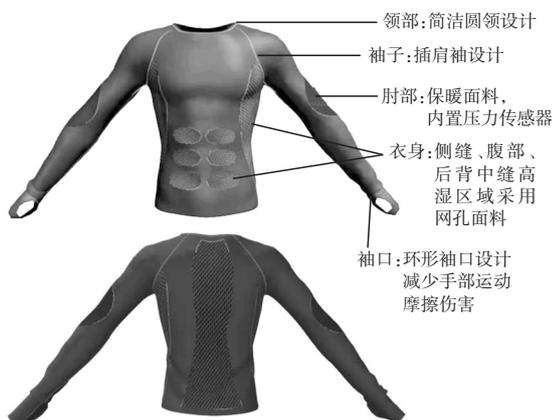


图8 运动服上衣设计

### 3.2.2 衣身

紧身运动服装要根据身体湿度分布、运动幅度和功能美观性来进行设计。运动中人体高湿度分布区域为前胸和后背中缝部位,虽然后背肩胛骨部分温度很高,但其汗液一般会积聚,然后凝结在后中缝<sup>[15]</sup>。针对后中缝和前胸高湿度分布区域,使用排湿透气性良好的网眼面料进行拼接设计(图8)。下装裆部和臀下处也有部分汗液积聚现象,但这些部位为人体隐私部位,要注意面料厚薄和整体美观性,采取同种颜色密度高透气的聚氨酯类面料进行隐形分割设计。在运动幅度较小的侧缝设计标识和反光面料,扩展服装适用环境,达到增强服装辨识性和运动安全性的功能。

### 3.2.3 传感部位

在运动过程中膝部和肘部不属于人体高湿度分布区域,运动中产生的汗液蒸发会带走身体的热量,故在膝关节、肘关节处进行分割设计,应用双层面料达到防低温保暖功能,将柔性传感系统置于聚氨酯面料之间(图9),在穿着过程中运动服与人体紧密贴合,可以随时感知膝盖和肘部的运动情况。

### 3.3 运动服面料

紧身运动服贴合人体穿着,面料舒适性是选择时必须要考虑的因素。面料要满足针织运动服面料国家标准 GB/T 22853—2019<sup>[16]</sup>,且人体不同部位对面料的敏感程度不同,在进行面料选取时要具体分析,以保障人体穿着舒适性。在服装设计中要综合舒适的服装触感、良好的吸湿排汗功能和优异的弹性这3点需求。

人体在剧烈运动时,体内产生热量导致出汗,良好的运动服装面料应能及时将汗液吸收或排出,为人体

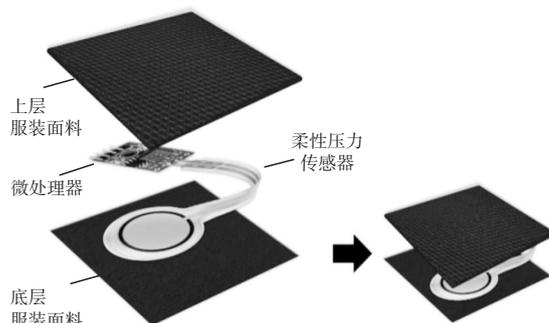


图9 传感器与服装结合示意图

营造干燥的运动环境。该设计服装主体选用以涤纶、锦纶和丙纶等湿传递较好的面料交织氨纶弹性纤维;在前胸及后背中缝等人体高湿度分布区域,选用轻薄、透气性好、易洗快干的网眼新型面料。这可以满足紧身运动服延展性能良好且排汗快干性能优异的需求。

## 4 结语

随着服装智能化的发展,应用柔性压力传感器的功能性服装成为研究热点。通过查阅中国服装市场发展大数据,结合当前主流购物平台中已有的智能服装种类,得出智能运动服发展存在需求日益增加和市场空缺之间的矛盾。结合 D2027 柔性压力传感器具体使用参数和应用电路进行整体传感模块设计,综合考虑传感器物理特性及其与服装的结合方式,将柔性压力传感器置于紧身运动服膝盖和肘关节处,从结构和面料方面出发进行紧身运动服设计,在满足服装穿着舒适性的前提下实现对人体运动时间、强度、状态的实时监测,以达到防止过度运动,长期健康运动的目的。

### 参考文献:

- [1] 卢韵静. 柔性纺织结构压力传感器制备及其智能可穿戴技术应用[D].青岛:青岛大学,2019.
- [2] 晁政. 基于HTML5的群体运动监测APP的设计与实现[D].太原:中北大学,2015.
- [3] 罗益锋. 功能纤维与智能纺织品最新进展[J].高科技纤维与应用,2019,44(1):1-17.
- [4] 邵开丽,付财源,张振帅,等.基于STC89C52单片机的智能服装系统设计[J].毛纺科技,2018,46(9):61-65.
- [5] ALMAAWI A, AWWAD W, BAMUGADDAM A, et al. Prevalence of knee injuries among male college students in Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia[J]. Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2020, 15: 126. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01638-1>.
- [6] 李野鹏. 运动训练专业篮球专项学生膝关节损伤调查及预防方法的研究[D].北京:首都体育学院,2016.

(下转第35页)

## Analysis of Body Shape of Female College Students and Influence on Clothing Pushboard

WANG Yan-xue, LIU Zheng-dong\*

(Beijing Institute of Fashion Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** In order to study the differences between the body type classification and national standard of current female college students in China, and improve the coverage of clothing size of young women, 1 417 female college students aged 19—25 in five colleges and universities in Beijing were selected randomly. Three dimensional scanning and manual measurement were used to extract the characteristic values of key parts, and the results were compared with those of adult women in GB/T 1335—2008 “standard sizing systems for garments-women”. Some suggestions on the classification of clothing size in China were put forward.

**Key words:** female college student; body shape classification; size filing

(上接第 26 页)

- [7] 王 颖. 我国高水平竞技健美操运动员运动损伤的研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2014.
- [8] SHARIFF A H, GEORGE J, RAMLAN A A. Musculo-skeletal injuries among Malaysian badminton players[J]. Singapore Medical Journal, 2009, 50 (11) :1 095—1 097.
- [9] 于少勇, 王伟华. 我国优秀女足队员运动损伤流行病学调查及预防对策研究[J]. 北京体育大学学报, 2006, 29(2): 209—210, 220.
- [10] 蒋桂凤, 张 平, 黄祁平. 篮球运动员运动损伤好发部位的特点及预防[J]. 湖南科技学院学报, 2005, 26(5): 205—207.
- [11] 王燕鸣. 膝关节损伤的生物力学因素分析[J]. 枣庄师专学报, 1995, (2): 98—99.
- [12] 桂向东. 篮球运动员膝关节损伤与预防[J]. 泰山学院学报, 2005, 27(3): 88—90.
- [13] 彭雪涵. 网球运动中肘关节损伤原因及防治[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2001, 29(2): 132—134, 131.
- [14] 任跃兵, 杨利民, 张承韶, 等. 等速运动训练在肘关节内骨折术后早期康复中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2011, 26(10): 939—944.
- [15] 王 琦. 紧身型运动服装分割线设计研究[D]. 北京: 北京服装学院, 2013.
- [16] 针织运动服: GB/T 22853—2019[S].

## Design of Sportswear with D2027 Flexible Pressure Sensor

YANG Xiao-hong, HAN Zhi-qing, HU Xue-rui, ZHANG Min

(College of Textile & Garment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** In order to meet people's increasing sports demand and adapt to the smart development environment of clothing, the vulnerable parts of the body in the process of sports were summarized through literature research, and flexible pressure sensor was placed in the elbow and knee of tight-fitting sports clothing. The sensor converted the pressure change between the human body and the clothing into data in the terminal display device through specific circuit, wireless communication technology and data processing system, and combined the structural design of the clothing and the selection of the fabric for the overall design. Intelligent clothing that met the requirements of physical comfort, self-monitoring and exercise planning of athletes was developed. It had realized intelligent applications based on the functionality of the clothing, which helped people understand their sports status more intuitively.

**Key words:** flexible pressure sensor; sportswear; fit; intelligence; design

创新节能减排 引领循环经济