

智能服装的应用现状及发展方向

王朝晖^{1,2}, 程宁波^{1,2}

(1. 东华大学 服装与艺术设计学院, 上海 200051; 2. 东华大学 现代服装设计与技术教育部重点实验室, 上海 200051)

摘要:为进一步研究智能服装发展现状和面临问题,促进智能服装的快速发展,阐述了智能服装在医疗健康、运动健身、国防军事和时尚休闲领域的应用现状,探讨智能服装中关键技术的发展现状和难点,包括传感技术、智能新材料技术、集成技术和交互技术。归纳总结智能服装所面临的安全性、舒适性、耐水洗性、耐久性和能源供应等问题,以及成本高昂难以产业化等巨大挑战,预测安全舒适、多功能集成化、低成本、绿色环保是智能服装的发展方向。

关键词: 智能服装; 关键技术; 安全舒适; 多功能化; 绿色环保

中图分类号: TP 212.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2021)05-0451-06

Application and Development Trends of Smart Clothing

WANG Zhaohui^{1,2}, CHENG Ningbo^{1,2}

(1. College of Fashion and Design, Donghua University, Shanghai 200051, China; 2. Key Laboratory of Clothing Design and Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: To further study the current situation and problems of the smart clothing, and promote its rapid development, the current status of application of smart clothing in the fields of medical health, sports and fitness, national defence and military, fashion and leisure, is analyzed. The current situation and difficulties in the development of several key technologies in smart clothing are discussed, including sensing technology, intelligent new material technology, integration technology and interaction technology. The huge challenges including safety, wearing comfort, washability, durability, energy supply and the high cost of industrialization, faced by smart clothing are summarized. And then the development trends of smart clothing in safety and comfort, multi-functional integration, low cost and green environmental protection are predicted.

Key words: Smart clothing, key technology, safety and comfort, multi-functionalization, green environmental protection

智能服装是服装、材料、电子信息、通信等多个领域交叉融合的产物,是当前的研究热点^[1-3]。从最新 SG-2021 第八届宁波国际智能服装服饰产业大会看,智能服装种类繁多,从婴儿到老人,从居家到运动,从日常到医疗、军用等服装均有涉及。智能服装从最早电子元件和服装的“物+物”组合形式逐步转向纤维基传感器件与纤维材料的柔性编织物形式,有效提高了智能服装的柔韧性、舒适性和实用性。导电纱线编织织物极大提高了智能服装的可穿戴性和舒适性,是目前智能服装应用较多

的一种材料^[4-5]。随着信息技术的快速发展,智能服装将被赋予更多的功能,以满足人们对更高生活质量的追求。文中从智能服装的应用现状出发,提出了智能服装的技术难点,归纳了智能服装面临的挑战,预测了智能服装的发展方向,为智能服装的进一步研究提供依据和参考。

1 智能服装的应用现状

近年来,随着智能技术和智能材料的快速发

收稿日期:2021-08-02; 修订日期:2021-09-16。

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(2232020G-08);教育部人文社会科学研究项目(20YJCZH063)。

作者简介:王朝晖(1967—),女,教授,博士生导师。主要研究方向为服装先进制造。Email:wzh_sh2007@dhue.edu.cn

展,智能服装逐渐被应用于医疗健康、运动健身、国防军事和时尚休闲等领域,为这些领域带来了巨大的产业价值,并产生了深远影响。

1.1 医疗健康领域

身体健康受到人们的普遍关注。智能服装应用于医疗健康领域主要得益于嵌入织物中的各类传感器,可以实时监测人体各种生理参数,包括体温、血氧、心率、心电、脑电等,有利于疾病的发现、预防和诊治,甚至减少死亡率^[6-7]。早在 2003 年报道了一款呼吸和心脏功能动态监测的 Life Shirt,服装内置入的传感器能够同时监测体温、呼吸速率、血压和心率等多项人体生理参数,并能对监测的数据进行初步分析,为医生的诊治提供参考^[8]。Owlet 公司开发了一款智能袜子(见图 1),用于监测儿童心率,并可以与手机 APP 连接,实时上传监测数据,便于监护人了解儿童的呼吸和睡眠情况。瑞士 Empa 研究中心将光纤与纺织品集成,利用光纤传感监测人体皮肤的血液循环,防止褥疮的发生^[9]。Smartlife 公司将导电纱作为传感器与织物结合,可监测人体信号,形成心电图以测量心率,或形成肌动电流图来监测肌肉活动,并将数据上传至云端或医生手机,这些大数据可辅助医生诊断^[10]。沈雷等^[11]将 NCF 纽扣植入普通毛衫,若老年人走失或摔倒,将手机靠近传感纽扣即可报警并及时将位置发送给紧急联系人。智裳科技联合 Lightness 共同研发了一款女性智能旋磁内衣,可加速血液循环,疏通乳腺,达到预防乳腺疾病的效果。从婴幼儿体温监测到老年人情感识别、防跌倒、风湿理疗,从身体健康监测到疾病预防^[12-13],将电子产品或智能系统织入纺织品(如帽子、袜子、裤子、衬衫、毛毯和绷带等)中,使得智能服装能够实时监测生理信号或执行特定的护理、理疗功能,对人体健康状态进行实时监控,对穿戴者予以相应的治疗,保障人们的生命健康。



图 1 Owlet 智能袜子
Fig.1 Owlet smart socks

1.2 运动健身领域

智能服装应用于运动健身领域主要涉及 3 个方面:①对运动者的生理信号(心率、体温、血氧等)和运动数据进行监测;②对运动者予以一定的保护;③辅助运动者合理的、准确的训练。Athos 推出一种全新的智能运动衣和短裤,产品内置入大量传感器,可以监测使用者的心率、呼吸频率,甚至通过 EMG 传感器可监测肌肉活动情况,并通过蓝牙将数据发送到智能手机,受到了运动者的青睐^[14]。Athos 智能运动服装如图 2 所示。Ralph Lauren^[14]推出的智能网球衫 OMSignal,将可检测心率、呼吸的心理压力传感器织入布料,并与防水且续航能力达到 30 h 的“黑盒子”连接,能监测人体情况,如劳累程度。OZLEM K 等^[15]研发了一种可穿戴传感器,可测量运动员姿态,判断姿态准确度,并可实时反馈以便运动员及时调整训练方案,促进运动员提高成绩^[15]。Lumo Bodytech 公司研发了 Lumo Run 智能跑步姿势追踪器,在智能跑步短裤内置入多种传感器监测人体运动指标,例如穿着者的跑步节奏、足部与地面接触时间、骨盆旋转角度和步伐长度,追踪器将数据发送到配套的接收器上,穿着者通过查看各种数据,及时调整运动姿态^[16]。Hexoskin 智能紧身运动衣采用智能织物,可监测运动心率、呼吸频率等体征,并将数据发送到蓝牙适配器上,应用范围广泛,如用于跑步、骑行等运动。目前运动领域较为成熟的智能服装是将小型电子传感器内嵌于运动文胸或运动衣中,用于监测心率或心电。考虑运动过程中皮肤移动对传感器监测精度的影响,柔韧、弹性的传感器成为当前智能传感的研究重点。



图 2 Athos 智能运动服装
Fig.2 Athos smart sportswear

1.3 国防军事领域

变色服装和红外伪装是军事领域中常用的智能服装,可随周围环境的变化改变颜色,不仅可防止被敌人发现,且可检测到生化武器。与医疗、运动监测相似,军用智能服装将传感器与衣物结合,

对士兵心率、体温、汗液等生理信号进行监测,还可对其定位,有效保障士兵的健康和安全^[17]。智能温控服装在国防军事领域也十分重要,尤其在极端环境下(极寒或极热),士兵需要将体温维持在 37 ℃ 左右,智能温控服装能实现在人体温度过低过高时自动对其调节^[18]。英国《每日邮报》报道了硅谷 Omius 公司设计的一款“会呼吸”夹克,该智能服装能够根据用户体温及室外温度自动调节衣内温度。英国 Intelligent Textiles 有限公司通过编织技术将电子设备织入可穿着的编织产品(如衣袖或潜水服等),使其具有更好的保温作用。智能编织物如图 3 所示。军用智能服装不仅可实时监测士兵作战状态时的体征,还可根据环境和生理变化予以其相应的保护措施,对国防军事具有重大意义。



图 3 智能编织物
Fig. 3 Smart knitting

1.4 时尚休闲领域

随着人们生活质量的不断提高,精神追求也日益受到重视,智能服装的发展给生活带来了新趣味和新生机。柔性智能发光材料的出现,丰富了智能服装的功能性和趣味性,如光致变色材料、智能光纤材料和温感变色材料等,可实现色彩和图案动态变化。东华大学研发了一款发光科技旗袍,通过多形态、多色彩的电致变色材料,达到旗袍图案根据环境变化动态转换的效果^[19]。伦敦设计师以“闪亮”为基调设计了一款发光礼服,该礼服将 LED 集成到新型织物中,并与手机相连,用户可控制礼服的亮度和动画形象,丰富了礼服的穿戴形式。深圳智裳科技有限公司设计了一款自发光可变色的婚纱,具体如图 4 所示。该婚纱采用特殊面料,是利用光的传导原理结合特殊的纺织工艺制成,可用 APP 远程控制,让其色彩随音乐闪烁变幻。



图 4 智裳科技变色婚纱
Fig. 4 Color changing wedding dress of AI-clothing

2 智能服装的关键技术

运用在智能服装中的关键技术包括传感技术、智能新材料技术、集成技术和交互技术,而智能服装关键技术的突破,可以促进智能服装多功能、多场景的实际应用。

2.1 传感技术

传感器作为智能服装的核心组成部分,是人体与电子系统之间的接口,它可将生理或环境信号转换成电学信号,从而实现对人体、环境等的智能监测。目前刚性传感器的研究已比较成熟,但无法满足人们对智能服装的柔软舒适、可弯曲变形等要求,柔性传感器具有体积小、延展性优良、柔软性好等特点^[20-21],故成为当前的研究热点。根据柔性传感器信号转换机制与工作原理的不同,可将其分为柔性压阻式传感器、柔性压电式传感器、柔性电容式传感器、柔性电感式传感器和柔性光纤传感器等^[22-23]。随着人工智能、运动健康等领域的快速发展,人们对智能服装的要求不断提高,为了满足人体穿戴舒适性的要求,具有柔韧、可拉伸、可弯曲、可回复特性的弹性传感技术极具发展潜力。

2.2 智能新材料技术

服装具有柔软、质轻、可弯曲、可洗涤等特性,是智能可穿戴设备的理想载体,也是智能可穿戴技术的终极形态。传统的电子器件一般为刚性,使人穿着不适,一定程度上限制了智能服装的发展。近年来,一些新型智能材料不断涌现,极大促进了智能服装的开发、设计和应用。智能材料的种类繁多:①智能发光变色材料,如温敏变色材料、LED 光

纤材料、电致变色材料、光敏变色材料、压敏变色材料等,此类材料在不同的应用环境或是外界刺激下,带给人们新奇的娱乐方式或保护^[24-26]。日本 Kanebo 公司将光敏物质包覆在微胶囊中,采用印花工艺开发智能光敏变色织物,制备光敏变色短袖。

②形状记忆材料,如形状记忆合金、形状记忆聚合物、形状记忆陶瓷等,此材料受外界刺激的影响在两种状态下发生可逆变化,在防烫伤、防摔倒、智能调温等智能服装中具有广阔应用前景。马里兰大学开发了一种红外辐射动态“门控”织物,可有效增强人体和环境的热交换,是智能调温服装的理想材料^[27]。

2.3 集成技术

智能可穿戴器件的柔性化、小型化、无线化是电子器件与服装集成开发智能服装的基础。用于智能服装的智能器件包括柔性传感器、柔性传导电路、柔性电极、柔性能量收集储存设备、柔性显示器等,这些电子器件需要相互配合完成智能监测、智能防护^[20]。作为智能服装的组成部分,智能可穿戴器件需具备柔软、可弯曲、可水洗、长时间续航等特点,以满足服装基本的服用性能。智能纤维或纱线通常采用编织、刺绣、涂层、浸渍等方式与服装集成,且需尽量减少连线,以提高智能服装的舒适性和便携性^[28-29]。在信号传输和通信技术的集成方面,无线化是主流,对信号端口进行集中整合,使测试和监测更加灵活、方便,扩展性更强,也是智能服装集成技术需要突破的难点之一。此外,智能柔性器件的放置应结合人体工程学和服装工效学进行设计,遵循以人为本的原则设计和开发智能服装。

2.4 交互技术

智能服装应以穿戴者的需求为出发点,并以满足人们的需求为落脚点。交互技术是人体与服装进行沟通、回应的主要途径,也可称为人衣交互。人衣交互最常用的媒介是手机 APP,穿着者给服装传递相关信号,包括语音、图像、文本、触控等,智能服装根据人体需求或环境条件的限定,做出相应的反馈和行为,与穿戴者产生运动交互、情感交互、认知交互、审美交互等。如智能心率监测衣,可对人体生理信号进行监测,将监测数据反馈给穿戴者或医生,使其根据监测结果采取相应的措施或行动,实现对疾病的预防和健康的管理;智能姿势监测矫正运动服,通过传感器监测运动姿势,以振动或语音的方式提醒运动者矫正运动姿势,从而有效指导运动者进行合理、正确的运动;人体生理信号监测衣通过柔性显示技术及时告知监测结果,为检测者

采取措施提供参考;智能情绪感知衣物根据多种生理信号监测分析穿着者的情绪,通过柔性显示器展示积极图像并播放合适的音乐帮助穿着者消除不良情绪,安抚心灵。

3 智能服装面临的挑战及发展方向

3.1 面临的挑战

3.1.1 安全性问题 虽然智能服装的科技性极具吸引力,但智能服装的安全性仍是人们关注的焦点,尤其是婴儿和老人用智能服装。安全性问题主要包括智能服装中嵌入的电子设备、导线、电池等带来的安全隐患,以及信息数据存储安全问题,然而许多传感器需紧贴人体皮肤才能准确监测生理数据,或不能接触水,因此对智能服装的安全性提出更高的要求。人们对信息数据的安全意识还比较薄弱,且目前也缺乏智能服装安全规范和行业标准,然而在大数据时代,个人信息数据安全问题亦不容忽视。

3.1.2 穿着舒适性问题 将微型电子器件嵌入纱线、织物、服装中,或通过导电纤维编织成的柔性电子器件与传统服装结合,使得服装具有智能性。电子器件一般为刚性,即便是柔性器件其柔韧性也不足,但通常这些智能器件被安装在胸部、腰部或是关节部位,均为人体敏感或活动幅度较大的位置,会给人带来不适感,甚至影响穿戴者的活动,同时也会影响智能器件监测的准确性,或损坏智能器件。满足人们对服装舒适性的要求,也是智能服装需要解决的重点问题。

3.1.3 耐水洗性及耐久性问题 虽然许多柔性器件已用于智能服装,但耐水洗性仍是智能服装面临的挑战之一。电子元件、柔性器件等经水洗易发生变形和损坏,且在穿戴过程中,智能织物或柔性器件容易发生磨损,甚至损坏织物或器件,尤其以线路连接的智能服装更容易损坏,因此实现智能服装的耐久性仍是智能服装面临的难题。

3.1.4 能源供应问题 从 SG-2021 第八届国际智能服装服饰产业大会看,目前大部分市场化的智能服装仍需要外接电源来维持智能器件的运行,如智能加热服饰。现已报道了一些柔性电池、太阳能电池、纳米发电机等,这些能源器件是解决智能服装续航的潜在方案,但这些材料的性能、结构以及与织物的集成等仍需进一步优化。

3.1.5 成本高昂且产业化困难 智能可穿戴在医疗和运动领域应用最为广泛,智能服装的设计和开

发涉及多学科,需投入大量成本,制备工艺繁杂,难以真正走出实验室进行产业化生产。目前许多智能服装研究来自高校、研究机构,要想真正市场化,普及大众,仍是一个巨大的挑战。

3.2 发展方向

3.2.1 安全舒适 随着生活水平的提高,人们对服装的舒适性要求也越来越高,对身体健康管理意识随之增强,这将进一步推动智能服装的发展和市場应用。将来,服装智能逐渐普适化,甚至每件衣服都会内嵌各种传感器,并采集各项生理数据,因此穿着舒适、安全是需要解决的首要问题。

3.2.2 多功能集成化 现有智能服装的功能性较为单一,监测或是加热功能的产品较多。目前市场较为成熟的智能可穿戴产品主要包括手表、眼镜等电子产品^[30],而智能服装产品以加热智能服饰、心率文胸、压力鞋垫居多,功能较为单一。随着科技的进步和生活质量的提高,智能服装将沿着多功能集成化方向发展,智能监测可同时获得各种类型的信号(如体温、心率、肌电图、心电图、脑电图和皮肤电活动等),并进行处理反馈给接收平台。可将智能高新纤维材料与柔性电子设备、能量收集设备等集成,实现具有多种功能的新型智能纺织品,使智能服装具备热舒适性、传感、计算、电子控制和自供电等功能。

3.2.3 降低生产成本 虽然智能手表、智能眼镜等刚性智能可穿戴在市場已相对成熟,但智能服装多数仍停留在实验室,走入市場较少。要想智能服装得到实际的、广泛的应用,应尽量降低智能服装的成本、优化其生产工艺,建立自动化智能服装生产线,实现低成本的产业化。

3.2.4 节约能源、绿色环保 绿色、环保是各行各业都关注的问题,未来的智能服装应考虑可持续发展问题。原材料应尽量选取可降解、可循环利用的材质,遵循可重复利用的标准。在设计智能服装时应坚持绿色环保理念,采用模块化设计,并对可多次循环使用模块、可回收模块进行说明,尽量减少污染,节约资源。

4 结 语

智能服装仍处于发展阶段,在多个领域具有广阔的应用前景,但仍需要多学科、多领域结合,共同促进智能服装的发展,实现其产业化生产。随着社会的进步和科学技术的发展,智能服装的设计会根据消费者的需求发生变化,但仍需坚持以人为本的

原则,并符合可持续发展的要求。

参考文献:

[1] 杨枝. 智能服装的现状与发展方向研究[J]. 轻纺工业与技术, 2021(3): 42-43.
YANG Zhi. Research on the status and development direction of intelligent clothing[J]. Light Textile Industry and Technology, 2021(3): 42-43. (in Chinese)

[2] 熊莹,陶肖明. 智能传感纺织品研究进展[J]. 针织工业,2019, 4(7):8-12.
XIONG Ying, TAO Xiaoming. Research progress of intelligent sensing textiles[J]. Knitting Industries, 2019, 4(7):8-12. (in Chinese)

[3] 聂耀阳, 张丹. 智能服饰未来发展走向浅析[J]. 轻纺工业与技术, 2021(2): 55-57.
NIE Yaoyang, ZHANG Dan. An analysis of the future development of intelligent apparel [J]. Light Textile Industry and Technology, 2021(2): 55-57. (in Chinese)

[4] 王宏付,张海棠,柯莹. 智能防寒服装研究进展[J]. 服装学报,2021,6(1):29-35.
WANG Hongfu, ZHANG Haitang, KE Ying. Research progress on intelligent cold protective clothing [J]. Journal of Clothing Research, 2021, 6(1): 29-35. (in Chinese)

[5] 刘旭华,苗锦雷,曲丽君,等. 用于可穿戴智能纺织品的复合导电纤维研究进展[J]. 复合材料学报,2021,38(1):67-83.
LIU Xuhua ,MIAO Jinlei ,QU Lijun, et al. Research progress of composite conductive fiber in wearable intelligent textiles [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2021, 38(1): 67-83. (in Chinese)

[6] 季婷婷,丛杉. 智能健康监测服装的研究现状与发展趋势[J]. 针织工业,2021,4(3):82-85.
JI Tingting, CONG Shan. Research progress and development trend of smart health monitoring clothing [J]. Knitting industry,2021,4(3):82-85. (in Chinese)

[7] 周艺颖,王晓云,李伟,等. 用于健康监测的智能服装[J]. 上海纺织科技,2019,47(9):1-4,52.
ZHOU Yiyang, WANG Xiaoyun, LI Wei, et al. Smart clothing for health monitoring [J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2019, 47(9): 1-4, 52. (in Chinese)

[8] WILHELM F H, ROTH W T, SACKNER M A. The lifeshirt,an advanced system for ambulatory measurement of respiratory and cardiac function[J]. Behavior Modification, 2003, 27(5): 671-691.

[9] 电子设计. 电子纺织技术的原理与未來市場导向和面临的挑战[EB/OL]. [2018-09-26] (2021-06-30).
<http://www.elecfans.com/d/783513.html>.

[10] 徐青. 高科技智能服装:未來的貼身医生[EB/OL].

- [2015-05-11] (2021-06-30). <https://www.cn-health-care.com/article/20150511/content-473715.html>.
- [11] 沈雷, 桑盼盼. 防走失老年智能服装的设计开发[J]. 针织工业, 2019(8):61-64.
SHEN Lei, SANG Panpan. Design and development of anti-wandering elderly intelligent clothing [J]. Knitting Industries, 2019 (8) : 61-64. (in Chinese)
- [12] 戎珑. 卫健业成为智能服装业最大的潜在市场[J]. 中国纤检, 2020(2):174-175.
RONG Long. Health and health industry has become the biggest potential market for smart apparel industry [J]. China Fiber Inspection, 2020(2):174-175. (in Chinese)
- [13] GURWANT G, SINGH A K, CHAUHAN U, et al. Health monitoring smart wearable cloth for chronic patients: a review [C]//KHANNA A. International Conference on Innovative Computing and Communications. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2021: 825-845.
- [14] 佚名. 盘点那些已经开卖的智能运动服装[EB/OL]. [2015-02-06] (2021-06-30). <http://wh.jiaju.sina.com.cn/news/20150206/673346.shtml>.
- [15] OZLEM K, ATALAY O, ATALAY A, et al. Textile based sensing system for lower limb motion monitoring [M]. Heidelberg:Springer, Cham, 2018:395-399.
- [16] YANG X F, CHEN Z H, ELVIN C S M, et al. Textile fiber optic microbend sensor used for heartbeat and respiration monitoring [J]. Sensors Journal IEEE, 2015, 15 (2): 757-761.
- [17] 张海煊, 黎淑婷, 韩丽屏, 等. 智能服装在军事领域的应用及研究进展[J]. 纺织导报, 2020(2):73-76.
ZHANG Haixuan, LI Shuting, HAN Liping, et al. Application and research progress of intelligent clothing in military field[J]. China Textile Leader, 2020(2):73-76. (in Chinese)
- [18] 佚名. 我军黑科技防寒服, 5 分钟全身暖烘烘, 零下 50 度作战也不冷[EB/OL]. [2019-05-02] (2021-06-30). https://www.sohu.com/a/311497704_607689.
- [19] 佚名. “科技旗袍”智能服饰作品亮相国博[EB/OL]. [2018-11-19] (2021-06-30). http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/201811/19/t20181119_30811484.shtml.
- [20] 彭秋闽, 肖紫涵, 杨雁冰, 等. 基于二维材料的柔性可穿戴传感器研究进展[J]. 分析科学学报, 2021, 37 (2):243-251.
PENG Qiumin, XIAO Zihan, YANG Yanbing, et al. Research progress of flexible wearable sensor devices based on two-dimensional materials [J]. Journal of Analytical Sciences, 2021, 37(2):243-251. (in Chinese)
- [21] 吴海燕, 李艳梅. 柔性传感器在纺织服装上的应用[J]. 毛纺科技, 2020, 48(9):94-98.
WU Haiyan, LI Yanmei. Application of flexible sensors in textile and clothing [J]. Wool Textile Journal, 2020, 48 (9):94-98. (in Chinese)
- [22] 温雯, 方方. 智能纺织品中的柔性传感器及其应用[J]. 服装学报, 2019, 4(3):223-229.
WEN Wen, FANG Fang. Application and research progress of flexible sensor for smart textiles [J]. Journal of Clothing research, 2019, 4(3):223-229. (in Chinese)
- [23] 侯星宇, 郭传飞. 柔性压力传感器的原理及应用[J]. 物理学报, 2020, 69(17):70-85.
HOU Xinyu, GUO Chuanfei. Principles and applications of flexible pressure sensors [J]. Acta Physica Sinica, 2020, 69(17):70-85. (in Chinese)
- [24] TAN J N, BAI Z Q, GE L, et al. Design and fabrication of touch-sensitive polymeric optical fibre (POF) fabric [J]. The Journal of the Textile Institute, 2019, 110(11): 1529-1537.
- [25] YANG D. Colour design and implementation of SMART mood changing clothing [C]// Institute of Electrical and Electronics Engineers Incorporated. International Conference on Industrial Technology and Management. State of New York:IEEE. 2017:12.
- [26] KIM J, CHOI S E, LEE H, et al. Magnetochromatic microactuators for a micropixelated color-changing surface [J]. Advanced Materials (Deerfield Beach, Fla), 2013, 25(10): 1415-1419.
- [27] ZHANG X A, YU S, XU B, et al. Dynamic gating of infrared radiation in a textile [J]. Science, 2019, 363 (6427): 619-623.
- [28] SHI J, LIU S, ZHANG L, et al. Smart textile-integrated microelectronic systems for wearable applications [J]. Advanced Materials (Deerfield Beach, Fla), 2020, 32 (5):1-12.
- [29] ISMAR E, KURSUN BAHADIR S, KALAOGLU F, et al. Futuristic clothes:electronic textiles and wearable technologies [J]. Global Challenges (Hoboken, NJ), 2020, 4 (7):1-14.
- [30] 陈骞. 全球智能可穿戴设备发展特点与趋势[J]. 上海信息化, 2019(4):78-80.
CHEN Qian. Development characteristics and trends of global smart wearable devices [J]. Shanghai Informatization, 2019(4):78-80. (in Chinese)

(责任编辑:卢杰)