

# 智能针织产品的研究现状及发展趋势

魏志伟,孟家光\*

(西安工程大学,陕西 西安 710048)

**摘要:**简要介绍智能针织,指出针织工艺智能化包括设备智能化、产品设计智能化、产品智能化,智能针织是实现针织工业向高效率、可持续现代化工业转型的关键;从智能监测针织产品、智能发热调温针织产品、智能形状记忆针织产品、智能变色针织产品4个方面介绍目前国内外智能针织产品的研究现状;结合迅速发展的科学技术对智能针织产品在智能纤维、柔性微型电子元件、多功能智能针织品及高级智能针织品等方面的发展趋势进行展望,指出其具有广阔的发展前景和市场潜力。

**关键词:**智能针织;现代化工业;智能监测;发热调温;形状记忆

**中图分类号:**TS 181.8

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673-0356(2022)05-0009-05

科技水平的提高和人们对美好生活的向往,促使智能化在生活的方方面面生根发芽。纺织行业是中国的传统优势行业,为中国的经济发展作出了重要贡献,在科技愈发成熟的今天,纺织智能化成为传统纺织业的突破口。纺织与科技的深度结合符合我国“十三五”规划中“智能纺织”的发展目标,也顺应了“十四五”规划与“2035年远景目标”的发展理念。针织工业作为国家的传统支柱工业,在进行转型、与互联网结合过程中具有一定的基础和优势。目前,针织行业在互联网应用方面取得了显著的成效,自动化的生产车间、智能化的管理控制系统、电商化的营销模式,智能可穿戴产品在近几年长足发展,为针织行业向智能化和科技化的进一步发展提供了新的机会<sup>[1]</sup>。纺织行业正在经历变革,针织服装因其优良的服用性能在纺织服装领域的占比越来越大,智能针织产品已经成为纺织服装行业的重点发展方向和重要的经济增长点,发展前景广阔。

阐述智能针织的发展以及智能针织产品的研究进展,包括智能监测针织产品、智能发热调温针织产品、智能形状记忆针织产品、智能变色针织产品的研究状况,并对智能针织产品的发展趋势做出归纳和展望。

## 1 智能针织简介

智能针织是将针织工艺智能化,包括针织设备智

能化、针织产品设计智能化及针织产品智能化<sup>[2]</sup>。利用针织技术与传感器、信息控制、材料等高新技术的结合,生产出满足用户监测生理信号、信息处理、变色、调温、形变等功能的智能针织产品,让无生命的纺织材料具有越来越多的生物特性是智能针织的目标<sup>[3-4]</sup>。针织设备智能化是将计算机技术应用在针织设备上,在2019年的国际纺织机械展览会上,圣东尼展出的SM8-TR1S型单面无缝圆机、斯托尔展出的ADF 830-24ki W型和CMS 830 ki型针织可穿戴电脑横机、岛精展出的MACH2VS213型全成形电脑横机、宁波慈星展出的KS系列电脑横机,都可以实现完整服装的成形编织,减少了工业生产过程中人力的使用,极大提高了生产效率,是针织行业提高竞争力、加快转型升级的重要途径<sup>[5-6]</sup>。针织产品智能化设计也是当前针织技术的研究热点<sup>[7]</sup>,对针织CAD系统、3ds Max三维设计等软件都投入了大量研究,不仅在织物结构、版型、花型等设计方面更加高效精确快捷,还能实现织物的仿真建模、虚拟展示、织物分析和产品查询等功能<sup>[8]</sup>,提高了智能针织产品多样性和市场竞争力。

智能针织品应用广泛,在医疗保健、体育健身领域为用户提供科学可视的数据,通过对使用者生理指标或动作行为进行监测,来达到改善动作、提高安全性等目的;在航空航天、军事、人工智能等领域,智能针织产品为在极端环境下工作的研究人员、士兵和其他工作者提供安全舒适的庇护,为国土安全、科学研究、经济建设事业保驾护航。智能纤维的研究推动了智能服装产品质量以及功能多样化的发展,包括蓄热调温智能纤维、形状记忆智能纤维、变色智能纤维等都是近些

收稿日期:2021-12-07

第一作者:魏志伟(1995—),男,硕士研究生在读,主要研究方向为3D打印柔性服装面料研究与开发,E-mail:wzw096032@163.com。

\*通信作者:孟家光(1964—),男,二级教授,博士,主要研究方向为针织新理论、新工艺、新技术与新设备研究与开发,功能与智能性针织产品研究与开发,废旧纺织品的生态回收与利用,3D打印柔性服装面料研究与开发,E-mail:mengjiaguang@126.com。

年来智能服装领域研究的热点<sup>[9-10]</sup>。此外,导电纤维是智能电子针织服装制作中不可缺少的部分,其中以金属纳米材料、导电高分子聚合物、纳米碳材料及新型二维材料 MXene 为代表,在柔性智能针织品领域有着巨大的应用价值<sup>[11-12]</sup>。柔性导电纤维具备导电性与服用性能,是开发柔性电子元件的理想材料,通过镀层、涂覆、高分子复合等方式制备<sup>[13]</sup>,在传统纺织用纤维上涂覆导电材料是使纤维获得电气性能的常用方法,例如 Shi 等<sup>[14]</sup>将导电的多壁碳纳米管沉积在涂有聚多巴胺的芳纶纤维表面,制备了性能更好的复合纤维,而金属导电纤维成本高,不能在服装中大量使用,一般只在具有电子器件的智能服装上作为导电线路使用。

针织工艺智能化改变了传统针织工艺流程,颠覆针织产品生产方式,扩大原料来源,增加销售模式,设计过程数字化,生产过程和制造管控自动化、智能化。提高针织产品质量,加快针织产品多样化发展,是实现针织工业向高效率、可持续的现代化工业转型的关键。

## 2 智能针织品的研究现状

按照业内普遍接受的分类方式,将智能纺织品分为消极智能纺织品、积极智能纺织品、高级智能纺织品。消极智能纺织品是第一代智能纺织品,仅能接收外界环境的变化;积极智能纺织品为第二代智能纺织品,可以对外界的刺激做出相应的反应;高级智能纺织品是第三代智能纺织品,融入多种学科技术,不但能对外界刺激做出相应的反应,还能通过自调节来适应外界环境的改变<sup>[15-17]</sup>。但也有部分学者认为仅具有感知功能的消极智能纺织品应归于功能性纺织品,其并不具备反馈和响应功能<sup>[18]</sup>。

### 2.1 智能监测针织产品

健康问题是人类社会生活永恒不变的话题,伴随着人类科技文明的发展,心脑血管疾病、老年痴呆、糖尿病等疾病的发病率也在逐年升高。基于传感器等电子元件的智能监测针织服装的出现满足了老年人、家人、医护人员随时随地了解使用者生理状态的要求,同时也对运动员、健身爱好者等的训练起到了指导作用。许黛芳等<sup>[19]</sup>设计了一款智能针织安全监护服装,其结构图如图 1 所示。位于腋下的温度传感器和右袖口处的心率、血压传感器对患者的生理状态进行监测,数据实时传输至控制器进行存储、分析,在阿尔茨海默症老

人出现异常数据时,无线通信模块会将患者数据及位置发送到亲属或医护人员设备上,以便老人及时得到治疗。该服装设计时,将石墨烯柔性传感器等模块嵌织在衣缝旁,模块之间采用导电纱线连接,有效避免了模块对舒适性能的影响。Luo 等<sup>[20]</sup>在袜子中集成了超过 200 个同轴压阻纤维传感器,如图 2 所示,用来感知收集人类做出各种动作时脚部的压力分布及变化数据并传输到搭建的触觉学习平台进行分析,得到的结果对运动员有很大帮助。传感器是智能电子纺织品中使用比较广泛的电子元件,其他元件如 Gaubert 等<sup>[21]</sup>在针织内衣上结合的纺织生物电极可以用来判断膀胱是否充盈。郑贤宏等<sup>[22]</sup>设计的纤维状电容器在智能针织产品上都有非常好的应用。



图 1 阿尔茨海默病老人针织智能监护服结构图

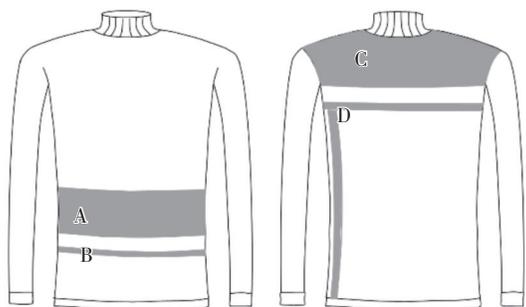


图 2 全尺寸触觉传感可穿戴针织产品

### 2.2 智能发热调温针织产品

具有发热调温功能的智能针织品深受广大消费者的喜爱,是在寒冷环境下工作、运动、生活所需的服饰<sup>[23]</sup>。目前,智能发热调温针织品的能量转换方式有利用相变材料的吸热/放热以及导电材料的电能/热能 2 种方式。利用相变材料固液间转换时热量的传递对织物进行调温,但是相变材料的调温范围有限,限制了其应用范围,而利用导电纱、碳纤维或石墨烯的导电导热性设计的发热调温服,具备高效、安全、轻便、舒适等优点<sup>[24-26]</sup>。如图 3 所示的智能电加热衫是李洁琼

等<sup>[27]</sup>利用针织工艺将镀银纱线集圈为加热部件连接热敏传感器和电源编织而成。随着对加热调温服装进一步研究,用导电纱进行加热的方式已经略显过时,因为相对于导电纱来说,基于碳纤维、石墨烯的加热调温服装的效率更高且安全舒适。许冰等<sup>[28]</sup>在冲锋衣中嵌入了柔性石墨烯发热膜片,通过挡位控制发热膜进行持续均匀的发热,这种发热方式让使用者觉得更加舒适。更高的舒适性和温度可调的智能性是户外爱好者选择智能调温针织服装的原因,但不可避免,电源的存在会影响穿戴者的体验。值得一提的是,为了更好地实现织物的发热调温功能,服装须具备隔热性能,那么在调温织物中加入形状记忆材料,增大织物气隙可以有效隔热,这同样为火警消防服提供了新的选择。



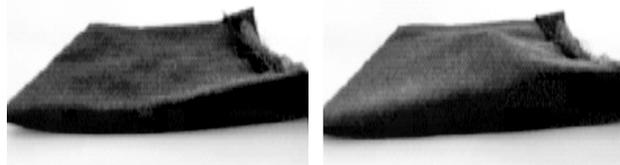
(a)前片 (b)后片  
A、C为加热部位;B、D为空气层,作为连接电路隐藏导线通道

图3 智能电加热毛衣

### 2.3 智能形状记忆针织产品

形状记忆材料是近几年纺织行业的研究热门,推动了纺织行业与其他行业的融合发展,其形状改变行为和自我修复能力引领设计复杂的智能纺织品和时尚产品<sup>[29]</sup>。耶鲁大学利用可变刚度纤维和可打印传感器研制出了一种可闭锁控制的机器人织物<sup>[30]</sup>,研究人员在氨纶针织物上印刷的传感器感知到损坏信号,会触发织物的收束压缩并且能在不消耗能量的情况下保持不变,该机器人织物可以作为特种作业人员的防护服,为受伤人员提供止血保护,提升了作业人员的安全性。Alenka Šalej Lah等<sup>[31]</sup>用形状记忆金属镍钛合金开发出了可用于智能消防服的纬编针织面料,这种绗缝织物在遇到75℃以上高温时,口袋中的镍钛单丝针织物会变形撑开织物,增大织物中的气隙,达到隔热的目的,如图4所示。Shi等<sup>[32]</sup>在聚氨酯中加入纳米纤维获得了比形状记忆聚氨酯恢复性能更好的形状记忆复合材料。形状记忆纤维可以在不同的响应条件下产生不同的形变,并能在初始条件下回到最初状态,为功

能和智能纺织品的研发提供了新的思路。



(a)室温 (b)75℃

图4 织物在2种环境中的变形情况

### 2.4 智能变色针织产品

智能变色针织产品可以根据刺激源的变化产生可逆性变色,通常有电致变色、光致变色、温敏变色等变色针织物。智能变色在针织产品上的应用主要由两类方法实现:一类是将变色微胶囊直接涂覆、粘合到织物上;另一类是将可逆变色聚合物、化合物纺成变色纤维丝<sup>[33-34]</sup>。刘晓妮等<sup>[35]</sup>通过浸渍法将微胶囊粘合到棉针织物上,实现了灵敏的颜色变化,且整理后的棉针织物服用性能良好。变色纤维的颜色快速切换以及在不同环境下的稳定性,在军事伪装、柔性显示屏等方面有巨大潜力<sup>[36-37]</sup>。Fan等<sup>[38]</sup>研究了可以进行多种颜色变化的电致变色纤维,研究人员用这种纤维加工出了电致变色针织品,如图5所示,运用到军事上,做成篷布或作战服,通过电子控制改变织物颜色,起到伪装的作用。由不同紫外线波长引发的光致变色也可运用到军事伪装上,例如丛林迷彩和沙漠迷彩的转换,不需要借助电源就可实现颜色的变化,对同时涉及这2种作战环境中的军事行动帮助更大,能更大程度提高军事目标成活率。在普通服装市场上,智能变色针织产品的时尚新奇对青少年有很大的吸引力,综上可知智能变色针织产品的市场前景广阔。

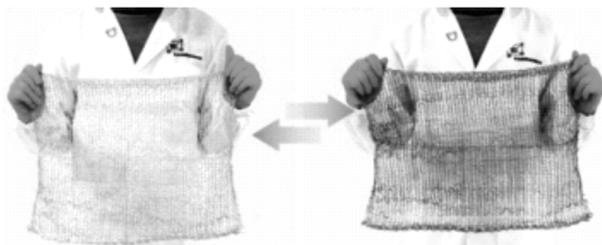


图5 电致变色针织品

## 3 智能针织产品的发展趋势

时代在前进,科技在发展。智能+针织的深度结合给纺织业的未来带来无限可能。市场上的智能针织产品应用人群相较于整个社会群体来说只是一小部

分,产品功能的特殊性、舒适性和价格是影响其应用范围的主要因素,随着科学技术的革新,未来的智能针织产品是面向社会和大众的。

### 3.1 智能纤维的制备

自然纤维在纺织行业的发展中被开发得非常完善,已经不能满足现代人对时尚便捷生活的需求。智能纤维有着比自然纤维更优良的特性,其用途更加广泛,在纺织、医学、建筑、航天等领域都有应用,利用复合材料研发具备传统纤维舒适柔软的智能纤维和导电纤维。

### 3.2 柔性、微型电子元件的开发

电子智能针织产品已经进入大众的视野,但是其缺点同样不可忽视,移动电源不便携、导电纱不安全、传感器和电容器等模块耐洗性差、影响织物舒适度等都是研究人员面临的难题。开发编织成型电子元件或者开发柔性微型电子元件嵌入织物中可以改变电子元件的劣势,都是值得尝试的研究方向。

### 3.3 多功能集成智能针织品

由于智能化程度不高,目前的智能针织产品功能单一,一种产品只能满足使用者的特定需求。多功能集成智能针织品可以针对消费者群体的不同或者环境的变换来设计产品,例如沙漠中昼夜温差大,在光致变色迷彩服上加入发热调温材料,提高士兵的连续作战能力和生存几率。将不同功能有机集合于一身,能更大程度上满足现代人追求快捷便利的心理。

### 3.4 高级智能针织品的研究

高级智能针织产品的研究已经较大程度上脱离纺织针织的范畴,它结合了人工智能、生物信息等众多高新技术,其涉及学科技术领域之多仅靠针织领域的研究人员难以完成。目前文献中并没有看到真正意义上的高级智能针织产品,如何让没有生命的针织产品具备“生命力”,需要多学科研究人员共同协作,是未来智能针织产品的主要目标。

## 4 结束语

智能针织产品是在传统针织产品基础上与科学技术不断融合发展的产物,智能针织产品以其优越的舒适性、功能性,成为纺织行业重要风口。在多学科、新技术不断融合推动下,多元的功能、舒适的触感、合理的价格使智能针织产品成为生活中随处可见的商品。纺织+智能的深度结合、绿色环保的纺织材料、数字化

的生产车间、电商化的销售模式、个性化的定制服务,推动了纺织行业的变革,提高了人们的生活水平,为我国实体经济建设注入新生力量。

### 参考文献:

- [1] 丛洪莲,高梓越. 互联网时代的针织科技[J]. 纺织导报, 2016(2): 56-59.
- [2] 蒋高明,高哲,高梓越. 针织智能制造研究进展[J]. 纺织学报, 2017, 38(10): 177-183.
- [3] 武加文,王强. 智能纺织品发展现状和检测[J]. 科技风, 2021(11): 20-21.
- [4] 汪亮,鲜春梅,万建军,等. 军用智能纺织品的发展现状与展望[J]. 棉纺织技术, 2018, 46(7): 81-84.
- [5] 胡旭东,沈春娅. 针织行业的智能制造及其实践[J]. 针织工业, 2019(8): 1-6.
- [6] 夏凤林. 针织装备技术的最新发展——ITMA 2019 国际纺织机械展览会针织机述评[J]. 纺织导报, 2019(10): 65-66,68-70.
- [7] 丛洪莲,沈颖乐,赵博宇,等. 针织产品智能化设计技术研究与应用[J]. 纺织导报, 2021(2): 38-43.
- [8] 蒋高明,崔双双. 人工智能技术在针织行业的开发与应用[J]. 纺织导报, 2018(3): 30-32,34.
- [9] 曾庆怡,林红. 智能纤维与智能纺织品研究概述[J]. 现代丝绸科学与技术, 2019, 34(6): 35-40.
- [10] 方国平,刘福荣. 多功能纺织新材料研究[J]. 针织工业, 2021(8): 29-34.
- [11] 朱诗倩,谈伊妮,刘晓刚. 柔性复合导电纤维在智能纺织品中的研究进展[J]. 现代纺织技术, 2021(6): 1-10.
- [12] 王超,刘琳,樊争科,等. 导电纤维及防静电织物研究进展[J]. 合成纤维, 2021, 50(11): 38-42.
- [13] 吴雨曦,王朝晖. 柔性导电纤维在智能可穿戴装备中的研究进展[J]. 纺织导报, 2018(9): 61-66.
- [14] SHI Z, ZHANG S, WANG J, et al. Manufacturing method of aramid fiber applied to wearable intelligent system [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2021, 869: 159314.
- [15] 马蕊婧,马瑜,何源,等. 现代智能纺织品的分类及应用[J]. 上海纺织科技, 2020, 48(5): 14-17.
- [16] KAN C W, LAM Y L. Future trend in wearable electronics in the textile industry[J]. Applied Sciences, 2021, 11(9): 3914.
- [17] 白洁. 智能纺织品的分类及其应用[J]. 毛纺科技, 2019, 47(4): 79-83.
- [18] 李昕. 电子智能纺织品的研究进展[J]. 轻纺工业与技术, 2013, 42(6): 51-53.

- [19] 许黛芳, 赵卫国. 阿尔茨海默病老人针织智能安全监护服装的设计[J]. 染整技术, 2020, 42(4): 51-56.
- [20] LUO Y, LI Y, SHARMA P, et al. Learning human-environment interactions using conformal tactile textiles[J]. Nature Electronics, 2021, 4(3): 193-201.
- [21] GAUBERT V, GIDIK H, KONCAR V. Smart underwear, incorporating textrodes, to estimate the bladder volume: Proof of concept on a test bench[J]. Smart Materials and Structures, 2020, 29(8):085028.
- [22] 郑贤宏, 胡侨乐, 聂文琪, 等. 纤维状柔性超级电容器的研究进展[J]. 精细化工, 2021, 38(12):2393-2403.
- [23] 魏言格, 李俊, 苏云. 防寒服用智能材料的研究进展[J]. 现代纺织技术, 2021, 29(1): 54-61.
- [24] 王祯, 施养承, 田明伟. 智能发热服装研究现状及发展趋势[J]. 山东纺织科技, 2020, 61(3): 1-3.
- [25] 栾晓丽, 杨陈. 服装中石墨烯内暖纤维的性能及其应用研究[J]. 上海纺织科技, 2019, 47(11): 7-9.
- [26] PENG Y, CUI Y. Advanced textiles for personal thermal management and energy[J]. Joule, 2020, 4(4): 724-742.
- [27] 李洁琼, 马大力. 镀银导电纱线智能电加热针织毛衫的设计开发[J]. 针织工业, 2020(10): 62-65.
- [28] 许冰, 钟冬根, 龚龔, 等. 基于石墨烯加热膜片的自动控温运动服[J]. 粘接, 2021, 45(3): 23-27.
- [29] BISWAS M C, CHAKRABORTY S, BHATTACHARJEE A, et al. 4D printing of shape memory materials for textiles: Mechanism, mathematical modeling, and challenges[J]. Advanced Functional Materials, 2021, 31(19): 2100257.
- [30] BUCKNER T L, BILODEAU R A, KIM S Y, et al. Roboticizing fabric by integrating functional fibers[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2020, 117(41): 25360-25369.
- [31] LAH A Š, FAJFAR P, KUGLER G, et al. A NiTi alloy weft knitted fabric for smart firefighting clothing [J]. Smart Materials and Structures, 2019, 28(6):065014.
- [32] SHI Y, CHEN H, GUAN X. High shape memory properties and high strength of shape memory polyurethane nanofiber-based yarn and coil[J]. Polymer Testing, 2021, 101:107277.
- [33] 方东根, 沈雷. 智能服装材料研究概述[J]. 针织工业, 2016(1): 42-46.
- [34] 秦辉. 变色纤维材料在服装设计中的应用研究[J]. 粘接, 2020, 44(11): 67-69,130.
- [35] 刘晓妮, 孟家光, 王红兴. 光致变色棉针织物的制备及其性能[J]. 棉纺织技术, 2021, 49(7): 29-33.
- [36] ZHU T, XIONG J, CHEN J, et al. Flexible electrochromic fiber with rapid color switching and high optical modulation[J]. Nano Research, 2021:1-7.
- [37] SHI M, LU B, JIN Y, et al. A facile approach for the preparation of reversible color changing luminescent fiber using thermochromic dyes[J]. Dyes and Pigments, 2021, 196:109757.
- [38] FAN H, LI K, LIU X, et al. Continuously processed, long electrochromic fibers with multi-environmental stability[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2020, 12(25): 28451-28460.

## Research Status and Development Trend of Intelligent Knitting Products

WEI Zhiwei, MENG Jiaguang\*

(Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Intelligent knitting was briefly introduced, and it was pointed out that intelligent knitting process included intelligent equipment, intelligent product design and intelligent product. Intelligent knitting was the key to realize the transformation of knitting industry to high-efficiency and sustainable modern industry. The research status of intelligent knitted products both in China and abroad were introduced from four aspects: intelligent monitoring knitted products, intelligent heating and temperature regulating knitted products, intelligent shape memory knitted products and intelligent color changing knitted products. Combined with the rapid development of science and technology, the development trend of intelligent knitted products in four aspects of intelligent fiber, flexible micro-electronic components, multi-functional intelligent knitwear and advanced intelligent knitwear was prospected. It was pointed out that intelligent knitting products had broad development prospects and market potential.

**Key words:** intelligent knitting; modern industry; intelligent monitoring; heating and temperature regulation; shape memory