

智能服装材料研究进展

夏明^{1,2}, 梁蕊文¹

(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:随着科学技术的不断发展,许多智能服装材料已经被研发出来并应用于运动健康、医疗卫生、军事装备、安全防护等领域。根据目前已有的智能服装材料将其按照功能分为被动、主动和非常智能三类,分析智能服装材料的研发与应用以及背后相关的技术发展。未来智能服装材料将向着可持续化、多功能化、系统化及商业化发展。

关键词:智能服装材料;技术;应用

中图分类号:TS 941

文献标志码:A

文章编号:1673-0356(2022)03-0001-04

每个人与服装面料都有着深厚的个人联系,可以说它是人类的第二层皮肤。随着人们对纺织品的要求越来越高,不仅希望接触到身体的织物能够使人体保持温暖或干燥,而且希望它柔软或结实,具有弹性,能够提供支撑;要求服装在保持其形状和颜色的同时,能够易于护理和清洁;要求它们是可持续的、可再生的,并且在制造时使用较少的能源。可穿戴技术和智能纺织品是热门话题,越来越多的技术人员对探索这些新材料在艺术实践和个人生活中的应用感兴趣。设计师们正与科学家们合作开发具有多种益处的纺织品,从超轻的保暖或冷却纺织品到能传递光、声和气味的纺织品。其他的发展包括改变其结构的纺织品和用可持续生产方法创造的纺织品,包括无水染色技术和在实验室种植纺织品的生物工艺等^[1]。

1 智能服装材料分类

传统纺织品是由纱线制成的,纱线所用的材料是根据其机械或结构质量而选择的。将智能材料加入到纺织品中,使其与传统纺织品相比,性能增强甚至具有其他功能特性。根据其功能,智能材料分为三类:被动材料、主动材料和非常智能材料,每一个层次都涉及不同类型的技术。

最底层的功能智能材料是被动智能材料,它们类似传感器,感知环境或刺激。这类材料能够接收信息,并显示发生在它们身上的变化,如颜色、热阻率或电阻率变化等。例如,当人体体温变化时会改变颜色的织

物^[2],光致变色油墨可以在特定温度下触发并改变其色调^[3],以及暴露在紫外线下会产生反应的织物^[4]等。

智能材料的第二个层次是主动智能材料,这些材料不仅能感知外界刺激,还能对外界刺激作出反应,当它们暴露在一个环境中时,同时扮演传感器和驱动器的角色。许多主动智能材料在遇到压力、振动、pH值、磁场或温度变化时会产生电压。例如压电材料,当对其施加应力时,就会产生电压;反之,当对其施加电压时,就会产生应力^[5]。

在以上层次智能材料的基础上增加第三个功能,称为非常智能材料。这些材料充当传感器并接受刺激,它们可以对信息做出反应,并且可以重塑自己,适应环境条件。这类材料研究是最先进的研究领域之一,也是目前智能服装材料研究最为活跃的领域之一,包括形状记忆合金材料^[6]、智能聚合物材料、智能流体材料和其他智能复合材料^[7]。

2 智能服装材料

材料科学家、工程师和设计师与使用方等一起合作,开发能提高速度、耐久性和保护能力的织物。这些织物用于外层空间,使生命免受火灾、辐射和化学品等的危害,目前已开发出可以管理能量输出、控制体温、监测心率和其他生理反应的运动服装面料,甚至可以将身体的位置和动作传送给电脑。在竞技领域之外,健康和美容领域也有一些发展,例如医用纺织品可以释放药物和监控免疫系统,还有智能伤口敷料,以及一系列围绕芳香疗法、皮肤治疗和香水开发的美容纺织品等^[8-9]。

2.1 性能增强

随着人们对织物的要求越来越高,织物的性能由

收稿日期:2021-10-02

第一作者:夏明(1981—),男,副教授,博士,主要研究方向为服装数字化技术,E-mail:xiaming@dhu.edu.cn。

本质向智能化发展,例如,那些在极端环境下工作的人需要防护服的保护以免受危险环境条件带来的伤害;或者使运动员发挥出更好的实力;或者为了跟上医学的突破等^[10]。目前这些纺织品包括湿度管理、温度调节、弹性织物以及通过提高速度、流动性和耐久性来提高性能的织物。

相变是指物质从固态变为液态的过程,就像冰从固态变为液态水一样。在这个过程中获得或失去的能量是材料“储存”或“释放”能量的关键。最初,美国宇航局开发了将相变材料嵌入纤维的技术,用于宇航员的宇航服。相变材料(PCM)^[11]现在正被应用到纺织品中,用于能量调节,可以让人们在凉爽的时候保持温暖,在温暖的时候保持凉爽,减少在两个极端的能量输出。

为了打破速度的世界纪录,运动员们都在寻找减少阻力的布料,希望能将成绩缩短 0.1 s。鲨鱼皮泳衣面料通过压缩减少皮肤振动和肌肉振动。泳衣还在躯干内嵌了紧身胸衣,以稳定游泳者的核心部位。随着疲劳度增加,游泳者的形态开始发生变化,例如臀部下垂、双腿拖拽等、紧身胸衣可以帮助支撑,使游泳运动员在比赛中保持一致的姿势,从而提高成绩^[12]。

瑞士纺织公司 Schoeller 为高山滑雪者设计的一款产品,其面料外层是聚酰胺(弹性面料),内层是聚酯,中间夹有泡沫。为了增加织物的强度和抵抗机械磨损的能力,在织物外部添加了一层金刚石般坚硬的陶瓷颗粒,这款织物不仅透气、耐磨、具有弹性,而且结合了空气动力学并具有杰出的水分管理能力^[13]。

湿度管理是决定织物舒适度的关键性能标准之一,这不仅与高温下的舒适度有关,在寒冷的天气条件下,保持身体干燥也是至关重要的。Gore-Tex^[14]使用一种由聚四氟乙烯(PTFE)制成的专利膜,薄膜上的小孔可以让水蒸气通过,但较大的水分子无法通过。最新的技术是采用一种新型膜,这种膜无需黏合剂,从而使产品相比前一代更薄、更轻。

2.2 安全与保护

纺织品的耐用性是保护使用者的关键,包括织物的强度、撕裂性、耐划痕性、耐摩擦性、阻燃性、抗化学物质和防辐射能力。从防弹衣到抵御无线电和辐射的织物,防护纺织品在我们的日常生活中越来越常见。

电磁波辐射的不断增加,危害着人体的健康。目前有众多学者致力于研发能保护穿戴者免受电磁场伤害的织物,这些电磁场包括手机以及手机发射塔辐射、

Wi-Fi、雷达、微波炉泄漏和电视广播等。通过在其织物中加入纺织金属丝,再用棉纱或涤纶纱纺制而成,编织成可洗涤、舒适、耐用的织物,外观和手感都和普通织物一样^[15]。

Kevlar 是杜邦公司制造的一种合成芳纶纤维混合物,数十年来一直用于防弹衣。由于它质轻强度高以及抗切割和耐磨损的能力,在服装上得到了广泛的应用。Kevlar 纤维应用广泛,在日常产品中从 iPhone 保护套到消防防护服和军用防弹衣^[16]。另外,该公司生产的 Nomex 是当今美国消防员装备中最常用的材料。

美国化学公司 Celanese 生产了一种叫 Vectran 的人造纤维,通常与聚酯(作为纬创核心周围的涂层)结合使用^[17]。Vectran 作为美国宇航局太空服的一层,它能承受极热并能抵抗紫外线辐射。

由道康宁(Dow Corning)公司开发的贝塔布,是由二氧化硅纺成纱,与玻璃纤维类似,得到的织物不会燃烧,只有在温度超过 650 °C 时才会融化。贝塔布是由载人飞船中心团队开发的阿波罗/天空实验室 A7L 太空服。自 1967 年阿波罗 1 号发射平台发生致命火灾,宇航员的尼龙宇航服被烧毁后,NASA 的宇航服就采用了这种方法。虽然这是一种较老的技术,但二氧化硅仍然可作为纳米涂层使用^[18]。

2.3 纳米技术

纳米技术是在原子或分子水平上对材料进行研究与开发,目前广泛用作化学整理剂和涂料。将纤维纺成纱线并编织成织物时,可以将纳米粒子作为后整理剂对纱线或织物进行化学处理。这些处理可以使织物具有卓越的水分管理能力,或得到超疏水性织物,或者添加药物试剂等使织物具有芳香疗法和抗衰老保湿的作用^[19]。

石墨烯纳米管是由一层中空单层石墨烯组成,这些纳米管纤维会形成人造肌肉纤维^[20],当受到热或出汗等刺激时,可以收缩和扩张。镍钛诺,又称镍钛,是另一种可以改变形状的材料,它属于形状记忆合金材料。这些材料具有特殊的性能,包括形状记忆、超弹性和高阻尼能力^[21]。

超疏水织物不仅防水还防油污,它表面的涂料使液体只是在表面滚动,不会长时间接触。Ross 科技公司的 NeverWet 是一种纳米涂层,可以喷涂在纺织品、皮革或其他产品的表面^[22]。NeverWet 不仅可以防止潮湿,还可以防腐蚀、防结冰,还有自洁功能。

中国东北师范大学的研究人员一直在研究一种具

有超强紫外线防护能力的超疏水性织物^[23]。在棉织物上涂上氧化锌纳米棒和氧化锌晶体,使织物的紫外线防护系数超过100。该织物通过在氧化锌表面涂上二氧化硅从而使之具有超疏水性,氧化锌和二氧化硅的结合增强了氧化锌的超疏水性。

Nylgold于2010年首次推出了一种具有抗衰老性能的纤维。它由金和玻尿酸纳米粒子组成,在纺丝过程中粘在锦纶纱线上。透明质酸可以帮助皮肤保持水分和补充胶原蛋白,在抗衰老方面起着关键作用^[24]。Cupron抗老化纱线加入了氧化铜,可有效抗老化和控制气味,Cupron已经被证明可以促进皮肤伤口愈合,应用于加压服装、糖尿病袜、抗真菌袜、纱布、敷料、绷带、缝合线等伤口护理产品^[25]。

2.4 电子纺织品

电子纺织品属于智能纺织品中较大的一部分。这些织物可以导电,意味着它们中的一些可以储存数据,产生和收集能量,广泛应用于可穿戴技术领域。导电材料如不锈钢、碳和硅与玻璃、陶瓷和其他纤维结合使用,建立了电子纺织品的材料体系^[26]。

实现简单的导电性,一般采用将金属纤维缠绕成纱线的方法。这些纱线通常直接缝在非导电织物上,代替芯线连接电子元件。将这些纱线编织的织物穿着在贴身皮肤上时,可以直接从用户的电脉冲中收集信息,或者直接将传感器嵌入织物,收集环境中的信息,不需要电线,例如运动胸罩中的心率监测器^[27]。导电性能也可以通过在纱线涂覆导电聚合物来实现,这种方法适用于拉伸织物,当织物向一个方向拉伸时,导电性增加,向另一个方向拉伸时,导电性降低。还有一些由金属纱制成的织物具有无菌的优点,可用于伤口敷料以及其他生物医学应用。

随着人们对更柔软舒适的电子产品需求的增长,新型导电材料正在被应用并开发成纺织品。东京大学的研究人员开发了一种可伸缩的橡胶材料,这种材料导电性能好,可以用来构建弹性电路。这种电线是由碳纳米管和聚合物复合材料制成的,该材料可以在不影响其性能的情况下拉伸到原来尺寸的1.7倍^[28]。

几个世纪以来,色彩和光线的运用一直让艺术家和观众着迷。使纺织品发光或变换颜色的方式很多,例如发光墨水,嵌入在纺织材料中的LED灯,以及使用光纤等。许多艺术家和设计师的创作方式仍然是用导线将LED元件缝在织物上,或使用导电墨水将LED元件连接到电路中。尽管目前LED元件已经变

得非常小,而且更容易使用,但最新进展是研发自主照明的织物。

英国布里斯托大学的一个研究小组用机械过程模拟了斑马鱼和乌贼的物理反应,因为这些生物可以使自身皮肤改变颜色。这两种动物改变颜色的方式略有不同:乌贼有着色细胞,可以根据需要迅速变大或变小,从而改变身体的颜色;斑马鱼会产生一种染色液体,而它的皮肤呈半透明状,因此可以根据需要改变液体颜色。研究人员通过使用人造肌肉纤维等聚合物材料模拟了这两种系统。当电流施加到介电聚合物上时,它就会膨胀,“颜色”就会变大,变得更突出。他们希望这项技术可以应用到纺织品上,使其能够根据周围环境的外观进行调整,从而促进自主变色纺织材料的发展^[29]。

2.5 无纺材料

除了传统的纺织品,还有一些无纺智能材料被开发出来用于服装领域。这些材料大多都是由泡沫、薄膜及复合材料的研发而得到的。为了使用这些材料来制作服装以及其他可穿戴设备,专门的制造技术也随之开发出来,包括激光切割和3D打印等。

意大利研究实验室Grado Zero Espace与欧洲航天局(ESA)合作研究如何提高纺织品的冷热质量。该小组开发了一种由纳米凝胶制成的充分性材料,也就是气凝胶。最初制造气凝胶是为了隔离太空中的仪器,气凝胶实际上没有重量,而且能承受极端温度。该实验室随后将气凝胶应用到其他产品上,例如能够承受零下50℃低温的防护外套。

3D打印技术目前已经逐步完善,而且在很多领域也得到了广泛的应用^[30]。目前3D打印材料主要有树脂、金属、工程塑料及橡胶类材料,但在服装领域的应用中,还存在很多原材料、成本、技术等方面的缺陷。但是,3D打印生产技术与传统服装生产技术相比,取消了纺织、印染、裁剪等流程,可以节省大量时间以及有效解决材料浪费问题,使生产过程更加高效,更加绿色环保。

3 结束语

几个世纪以来,人类一直在研究开发和改进新的纺织材料,使其可以对外界刺激如温度、湿度、光线、压力、电子磁场等因素有感知并做出反应,赋予其更加“智慧”的功能。相较于传统纺织材料,智能纺织材料可以在恶劣的气候条件下防雨雪、透湿、防风、保暖等;

在恶劣的工作环境中能阻燃、隔热、防辐射、防静电、防化学生物试剂等,还可用作工具,如进行通信、检测和记录信息等。智能特征表现为感知功能,即能够感知外部或内部的环境条件;反馈功能,即可通过内部的传感系统,将对比结果反馈给驱动系统;响应功能,即根据外界环境和内部条件变化作出相应的反映并采取必要的响应措施;自诊断、自修复、自调节等功能。服装材料智能化是发展的必然趋势。随着多学科交叉,未来智能纺织服装材料将趋于多功能化;另一方面,智能服装材料的研发也将更加系统化,从而降低研发成本,使其向商业化发展。在实际应用方面,智能服装材料将根据目标用户需求更加细化、更加美观以及更加安全和可持续化。

参考文献:

- [1] KONGAHAGE D, FOROUGH J. Actuator materials: Review on recent advances and future outlook for smart textiles[J]. *Fibers*, 2019, 7(3):21.
- [2] 吴飞扬,吴映妮,王楚元,等. 棉织物温敏变色微胶囊印花工艺及温变色性能[J]. *印染助剂*, 2019, 36(7): 39-43.
- [3] 李慧,张华春. 涂层印花法光致变色织物的性能与测试方法研究[J]. *中国纤检*, 2020(4): 64-65.
- [4] 周立亚,陈梦琴. 紫外光敏变色织物的颜色响应性能研究[J]. *纺织导报*, 2019(11): 85-88.
- [5] 万甦伟,陈家林,李世鸿,等. 电子皮肤新型材料与性能研究进展[J]. *工程科学学报*, 2020, 42(6): 704-714.
- [6] 祥章,裴泽光,陈革. 基于形状记忆合金丝包覆纱的针织物致动器研究[J]. *纺织学报*, 2020, 41(5): 50-57.
- [7] 王博. 智能应力响应材料强化三维复合防护织物[D]. 长春:长春工业大学, 2013.
- [8] 沈雷,桑盼盼. 不同领域技术下智能服装的发展现状及趋势[J]. *丝绸*, 2019, 56(3): 45-53.
- [9] Musante Glenna. 美容纺织品的发展现状[J]. *纺织导报*, 2013(4): 51-52.
- [10] 郝静雅,李艳梅. 智能服装发展现状及趋势[J]. *纺织导报*, 2020(4): 62-65.
- [11] 孙洁,孙娜,周建安,等. 相变微胶囊及其功能纺织品研究进展[J]. *服装学报*, 2019, 4(3): 189-200.
- [12] 仝爱莲,张楠楠. 国外航天领域军民两用技术产业化案例研究(七)[J]. *军民两用技术与产品*, 2009(10): 3-4.
- [13] 董梅. 户外运动服装对功能性面料的选择与应用[D]. 苏州:苏州大学, 2016.
- [14] 陈益松,唐晓楠. Gore-Tex 面料透湿性能对比测试[J]. *东华大学学报(自然科学版)*, 2018, 44(2): 232-237.
- [15] 陶丽珍,邵东锋. 抗电磁辐射织物模拟及最优性能分析[J]. *上海纺织科技*, 2019, 47(11): 10-13.
- [16] 田鹭新,曹海建,黄晓梅. 软质防刺材料的研究现状及展望[J]. *棉纺织技术*, 2020, 48(6): 12-16.
- [17] 覃俊,王桦,陈丽萍,等. 芳香族聚酯液晶 Vectran 纤维的性能与应用[J]. *纺织科技进展*, 2017(12): 1-4.
- [18] 李静. 氟硅改性 SiO₂ 纳米涂层的表面结构与疏水性能调控研究[D]. 杭州:浙江理工大学, 2016.
- [19] DONG K, PENG X, WANG Z L. Fiber/fabric-based piezoelectric and triboelectric nanogenerators for flexible/stretchable and wearable electronics and artificial intelligence[J]. *Advanced Materials*, 2020, 32(5):1902549.
- [20] PARK S J, KIM U, PARK C H. A novel fabric muscle based on shape memory alloy springs[J]. *Soft Robotics*, 2020, 7(3):321-331.
- [21] BARKOWIAK G, DABROWSKA A, GRESZTA A. Development of smart textile materials with shape memory alloys for application in protective clothing[J]. *Materials*, 2020, 13(3):689.
- [22] GUPTA R, VAIKUNTANATHAN V, SIVAKUMAR D. Superhydrophobic qualities of an aluminum surface coated with hydrophobic solution NeverWet[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2016, 500:45-53.
- [23] 王玲玲. ZnO 纳米材料的水热/溶剂热合成与物性研究[D]. 长春:东北师范大学, 2010.
- [24] 李赫宇. 静电纺 pH 与温度敏感型纳米纤维的制备和应用[D]. 上海:东华大学, 2018.
- [25] 秦益民. Cupron 铜基抗菌纤维的性能和应用[J]. *纺织学报*, 2009, 30(12): 134-136.
- [26] 赵永霞,施楣梧. 新型电子智能纺织品的开发及应用[J]. *纺织导报*, 2010(7): 106-110.
- [27] 韦文. 智能文胸“黑匣子”的秘密[N]. *中国纺织报*, 2016-01-22.
- [28] 李帅. 一种 MWNTs/硅橡胶柔性可伸缩导电复合材料的研制[D]. 南京:南京理工大学, 2012.
- [29] ROSSITER J, YAP B, CONN A. Biomimetic chromatophores for camouflage and soft active surfaces[J]. *Bioinspiration & Biomimetics*, 2012, 7(3):036009.
- [30] 德吉,刘珍. 3D 打印技术在服装设计中的发展现状及趋势[J]. *轻工科技*, 2020, 36(5): 104-106.

煮温度的关联性进行分析,虽然只对蚕茧解舒率、茧层率等与煮茧温度有密切关系的指标进行了分析论证,而且方案的应用还不太全面,但作为指向性的技术还是较为合理。为了技术更加完善合理,在后续的生产中,应把蚕茧质量指标进行多层次的分析选用,通过数据的积累、筛选及模式的优化,在煮茧的实际生产中应用改进,并逐步完善数据与温度的关联方案,提升煮茧工序的技术水平。

参考文献:

- [1] 陈祥平,刘季平,王建平,等. 减压煮茧新技术及设备研究[J]. 丝绸,2016(10):22-28.
- [2] 卜献鸿,陈祥平,段春稳,等. 减压自动煮茧机工艺参数设置与调试[J]. 丝绸,2020(7):55-61.
- [3] 王小英. 新编制丝工艺学[M]. 北京:中国纺织出版社,2001.

Correlation Analysis of Cocoon Quality Data and Cocoon Cooking Temperature on the Decompressed Cocoon Cooking

ZHENG Dan^{1,2}, REN Qiangsheng^{1,2}, DUAN Chunwen^{1,2},
BU Xianhong^{1,2,3}, LI Fan^{2,3}, WANG Jianping^{1,2}, LI Gang^{1,2}

(1. Sichuan Academy of Silk Sciences Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Modern Cocoon & Silk Manufacturing Technology Resources Sharing and Service Platform of Sichuan Province, Chengdu 610031, China;

3. Sichuan Provincial Silk Engineering Research Center, Chengdu 610031, China)

Abstract: Cocoon cooking is the key process of silk reeling. The quality, yield and cocoon consumption are affected by the quality of cocoon cooking. The parameter of cocoon cooking process includes the temperature and time in the process of permeability, cocoon cavity guttation, cooking and cocoon protection. The temperature of cooking plays an important role in the degree of cooking. The cooking temperature design is mainly based on the test data of unwinding ratio and cocoon shell percentage. After setting up the process, the corresponding adjustment and correction was carried out according to the on-site production, so as to optimize the cocoon cooking process. The correlation of cocoon quality data and cocoon cooking temperature of the decompressed cocoon cooking was analyzed. Reasonable cocoon cooking parameters could be designed by cocoon quality data, which could reduce blindness of process adjustment and fully excavate the characteristics of cocoon.

Key words: cocoon quality data; decompressed cocoon cooking; cocoon cooking temperature; correlation

(上接第4页)

Research Progress of Smart Textile Materials

XIA Ming^{1,2}, LIANG Ruwen¹

(1. College of Fashion and Design, Donghua University, Shanghai 200051, China;

2. Key Laboratory of Clothing Design & Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: With the development of science and technology, many smart textile materials have been developed and used in various fields such as health, sports, medical, military and security protection. Smart textile materials were divided into three categories which were passive, active and very smart materials according to function. The development and application of smart textile materials as well as the related technical progresses were analyzed. In the future, smart textile materials will develop towards sustainability, multifunction, systematization and commercialization.

Key words: smart textile material; technology; application