

DOI:10.13475/j.fzxb.20141005807

# 智能服装材料及其在安全性服装中的应用

方东根<sup>1,2</sup>, 沈雷<sup>1,2</sup>, 胡哲<sup>2</sup>

(1. 生态纺织教育部重点实验室(江南大学), 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 纺织服装学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要** 通过对近 20 年来国内外智能服装材料的研究成果进行梳理,明确智能服装材料的分类,并选择了几种具有代表性的作为重点展开介绍。同时,对安全性服装设计进行综述,将智能服装材料作为安全性服装的安全因子与之结合,从而实现科技与时尚的融合。明确智能服装材料应用于安全性服装的设计原则和设计方法,强调在应用过程中功能设计、款式设计、色彩设计的三位一体。探讨了未来智能服装材料及其在安全性服装中应用的发展趋势。

**关键词** 智能服装材料; 安全性服装; 服用性能; 安全因子

**中图分类号**: TS 941. 73 **文献标志码**: A

## Review of smart garment materials and wearability thereof

FANG Donggen<sup>1,2</sup>, SHEN Lei<sup>1,2</sup>, HU Zhe<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Eco-Textiles (Jiangnan University), Ministry of Education, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. College of Textile and Clothing, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

**Abstract** This paper combs the research findings of smart garment materials at home and abroad over the past 20 years, then defines its classification, and chooses several representative categories as a key introduction. At the same time, the paper overviews the design of security clothing and regards the smart material as a security element to apply for the design of security clothing to realize the fusion of technology and fashion. Also it points out the application principles and methods for using smart garment materials in security clothing and emphasizes three-in-one of function design, style design, color design by analyzing the design patterns for security clothing. Finally, the paper explores the development trend of smart garment material and its application practice in security clothing in the future.

**Keywords** smart garment material; security clothing; fiber; wearability; safety factor

智能材料是指模仿生命系统,同时具有感知和驱动双重功能的材料<sup>[1]</sup>。近年来随着电子信息技术的<sup>[2-4]</sup>、仿生技术<sup>[5]</sup>、纳米技术<sup>[6-8]</sup>、3D 打印技术<sup>[9]</sup>等高新技术的发展,智能材料正朝着功能优化、低成本化、环保安全等方向发展,并有部分产品实现产业化,在军事、医疗、建筑、纺织服装等领域产生着重要影响<sup>[10-12]</sup>。

材料是服装设计的三要素之一,是构成服装的

物质基础,款式与色彩必须依附其之上才得以展现。在服装设计领域,很长一段时间都处于一种以造型、结构设计为主导的局面,直到 20 世纪五六十年代,材料才被设计师们加以重视并不断创新。一方面,服装设计师们通过对材料进行创新设计来缓解依靠造型设计陷入黔驴技穷的局面<sup>[13]</sup>。同时,随着人们对服装要求的日益提升,一种以安全为主要目的的服装,即安全性服装<sup>[14]</sup>,受到越来越多的关注。为

收稿日期:2014-10-27 修回日期:2015-03-24

基金项目:教育部人文社会科学研究基金项目(11YJA760059);江苏省产学研前瞻性联合研究项目(SBY201320235);江苏服装品牌创新战略研究项目(12SYC-047)

作者简介:方东根(1990—),男,硕士生。主要从事服装安全设计与品牌研究。沈雷,通信作者,E-mail:shenlei99913@aliyun.com。

对人体形成更安全的防护作用,近些年来智能材料作为安全因子<sup>[15]</sup>被逐渐应用于安全性服装当中,即所谓的智能化安全服装。本文只针对智能化安全服装进行研究,即文中所述安全性服装特指智能化安全服装,但是智能材料并不都具有很好的服用性能,为在一定程度上满足人们日常穿着的要求,智能材料应用于安全性服装中需要从多方面加以考虑,其中设计是重要的一环。

## 1 智能服装材料概述

为更好地将智能材料用于服装中,近些年来一些学者致力于对智能服装材料的研究。智能服装材料的研发是智能材料研究的延伸。

### 1.1 智能服装材料研究现状

智能服装材料指保留服装材料固有风格和服用性能的智能材料<sup>[16]</sup>,其对能量、信息具备储存、传递和转化的功能<sup>[17]</sup>。它的形状主要有三维的块状、二维的薄膜状、一维的纤维状和准零维的纳米粉体状 4 种<sup>[18]</sup>。其中智能纤维由于长径比大且具有较强的可加工性<sup>[19]</sup>,目前研发较为成熟。近些年来,随着服装功能的不断延伸,一些非纤维状电子信息类材料开始应用于服装当中,且与服装的结合越来越自然。

目前设计智能服装材料的指导思想主要有材料的仿生设计和材料的多功能复合 2 种<sup>[20-21]</sup>。其中美国、英国、芬兰、日本等发达国家在该领域的研究较我国更为先进,比较著名的有美国太空总署为登月计划研发的 Outlast® 纤维、日本东丽公司开发的热敏变色材料 Sway<sup>[22]</sup>以及芬兰的智能电子信息类材料<sup>[23]</sup>,这些材料大都已实现工业化生产,但由于针对智能服装材料的研究近些年才兴起,各国对这一领域都有自己的见解,因此当前很难形成一个统一规范的知识体系。同时,产品的可靠性以及性能优化也都需要继续加以研究。我国现有研究很大程度上借鉴于国外,曹立辉<sup>[16]</sup>就国际上智能服装材料的开发与应用作了宏观的介绍,谭立平<sup>[24]</sup>对智能军服材料进行了研究。近些年来我国也开始注重自主研发,国家自然科学基金和“863”项目加大这方面的研究,特别是一些关于航空、航天等特殊领域用智能服装材料的研发。

### 1.2 智能服装材料的开发与应用

目前智能服装材料种类繁多,分类不一,其中以 2 大类最为常见:一类是智能纤维;一类是非纤维类

智能服装材料,后者以电子元件最为常见。图 1 示出智能服装材料的分类。

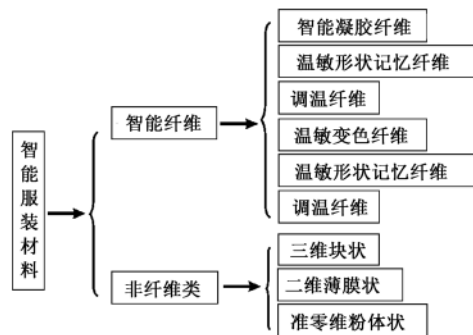


图 1 智能服装材料的分类

Fig. 1 Classification of smart garment materials

#### 1.2.1 智能纤维

智能纤维为纤维状智能服装材料<sup>[25]</sup>,是目前智能服装材料开发与应用最为广泛的一类,而其中以敏感型智能纤维最为普遍,如温敏纤维、光敏纤维、pH 响应性纤维等。目前国内外开发的智能纤维主要有以下 6 种。

**1.2.1.1 智能凝胶纤维** 智能凝胶纤维是指能随外界刺激发生体积或形态改变的凝胶纤维<sup>[26]</sup>。根据刺激条件的不同,主要可分为 pH 响应性、温敏、光敏以及电敏等品类<sup>[27]</sup>,其中以 pH 响应性凝胶纤维最为常见,如聚甲基丙烯酸甲酯-聚 N-异丙基丙烯酰胺-聚丙烯酸、聚乙烯醇纤维、聚丙烯腈等。

智能凝胶纤维具有自适应性、生物相容性,近年来常被用于智能纺织品的开发设计中,如防水透湿膨胀织物、智能抗菌及医用纺织品、防紫外线织物和智能蓄冷纺织品等。美国 Midé 技术公司利用温度响应性水凝胶纤维开发了一款名为 SmartSkin 的新型智能潜水服<sup>[28]</sup>,具有良好的防水透湿效果。

**1.2.1.2 形状记忆纤维** 形状记忆纤维是指在一定条件下(应力、温度等)发生塑性形变后,在特定条件刺激下能恢复初始形状的一类纤维,其原始形状可设计成直线、波浪、螺旋或其它形状。主要有形状记忆合金纤维、形状记忆聚合物纤维和经整理剂加工的形状记忆功能纤维 3 大类<sup>[29]</sup>。

形状记忆纤维在纺织品上具有较为广阔的应用前景,可被开发成众多品类、功能的服饰,如阻热隔热服、防水透湿服、懒人衬衫、抗浸保温服等。尤其被用于以下场合:1)用于领口、袖口以及下摆等有较高保形要求的部位;2)用于衣服肘部、大衣后摆、裤子膝部等部位,以满足回复要求;3)用于针织物等保形性差的材料中,以改善织物性能。

**1.2.1.3 相变纤维** 相变纤维是一种能够自动感知环境温度的变化进而智能调节温度的高科技纤维产品<sup>[30]</sup>。它通过结合相变材料技术与纤维制造技术进行开发。其内包含的相变物质通过发生固-液或固-固可逆转化可使纤维具有双向温度调节和适应性。当环境温度高于某一阈值时,材料相变吸热而具有制冷效果;当环境温度低于某一阈值时,材料相变放热而具有保温效果,以此来控制纤维周围的温度。相变材料(PCM)有无机 PCM、有机 PCM 和复合 PCM<sup>[31]</sup>之分。相变纤维加工方法主要有涂层法、微胶囊混合法、中空纤维填充法和复合纺丝法。目前市场上比较具有代表性的相变纤维产品有 Outlast<sup>®</sup>、Comfortemp<sup>®</sup>、Thermasorb<sup>®</sup> 和 Cool Vest<sup>®</sup><sup>[32]</sup>等,它们可在温度振荡环境中反复循环使用,并且热循环次数普遍都达到 1 000 次以上,被用于滑雪服、登山服以及军服等服装中。

**1.2.1.4 智能变色纤维** 智能变色纤维是一种具有特殊组成或结构,在受到外界刺激后能够自动发生可逆性颜色变化的纤维<sup>[33]</sup>。

1) 温敏变色纤维。其变色机制为:在某一温度刺激下,纤维内或纤维表面的温敏变色物质会发生晶型转变或结构转变,而在另一温度刺激下,这种温敏变色物质又会变回原来的状态,从而使颜色发生可逆变化<sup>[34]</sup>。其中日本东丽公司 1988 年研发的温敏变色纤维 Sway 在温度的刺激下能变化出 64 种颜色,并且温差超过 5 ℃ 就能变化;英国默克化学公司生产的变色纤维在 28 ℃ 显红色,而在 33 ℃ 会变为蓝色。这些温敏变色纤维被广泛用于实现军事伪装、舞台特效等。

2) 光敏变色纤维。其变色机制为:在紫外光或可见光的照射下,某些化合物会发生分子结构方式或电子能级的变化形成新的吸收光谱不同的化合物,而在另一光照条件下,这种化合物又会返回原来的状态,以此不断循环发生可逆变化。其中日本松井色素化学工业公司生产的光敏变色纤维通过紫外光或阳光的刺激会变成深绿色,而在无阳光条件下不变色;我国东华大学研发的光敏变色纤维在紫外光或阳光的作用下能在无色和蓝色 2 种颜色中发生可逆变化;而美国加州大学研制出了一种可随着光线的改变而调节透光程度的智能纤维,可用于制作窗帘。

**1.2.1.5 光导纤维** 光导纤维是一种可将光能封闭在纤维中并使其以波导方式进行传输的复合纤维,亦称为智能光纤,由纤芯和包层 2 部分组成,

具有优异的传输性能,可随时提供描述系统状态的准确信息。目前有 2 种纤维结构能够形成波导传输:一是阶跃型。阶跃型光导纤维的纤芯与包层间界面形成全反射,因此光在其中呈锯齿状曲折前进。二是梯度型。梯度型光导纤维的纤芯折射率从中心轴线沿径向逐渐减小,因此传输时会形成周期性的会聚和发散,使光呈波浪式曲线前进<sup>[35]</sup>。光导纤维的制备方法主要有棒管法、沉积法、复合纺丝法、离子交换法、单体扩散法、共混法以及界面凝胶共聚法等。光导纤维直径细、柔韧性好、易加工,同时兼具信息感知和传输的双重功能,被人们公认为首选的传感材料,近些年来其被广泛用于制作各类传感器,在智能服装、安全性服装等新型服装中屡有应用,以实现对外界环境的温度、压力、位移等状况以及人体的体温、心跳、血压、呼吸等生理指标的监控。

**1.2.1.6 导电纤维** 导电纤维是指在标准状态(20 ℃、相对湿度 65%)下,比电阻低于 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 的纤维<sup>[36]</sup>,其具有优良的导电性能,并能通过电子传导和电晕放电来消除静电,主要被用于消除静电、吸收电磁波以及探测和传输电信号。目前导电纤维主要有以下 3 种:金属纤维、碳纤维、导电聚合物等导电物质均一型;合成纤维外层涂覆碳黑等导电成分的导电物质包覆型;碳黑或金属化合物与成纤高聚物复合纺丝得到的导电物质复合型<sup>[36]</sup>。

### 1.2.2 非纤维类智能服装材料

智能纤维在服装中的应用形式较为广泛,与其不同的是,非纤维类智能服装材料在服装中的应用主要以附加设备的形式与服装进行结合,特别是电子智能服装材料。电子智能服装材料是指将电子技术、信息技术等高新技术融入纺织服装产品的高科技材料<sup>[16]</sup>。为更好地融合科技、时尚与实用性,目前的电子智能服装材料都具有或部分具有如下物理机械性能:1)高拉伸强度;2)高撕裂强度;3)高耐磨损性能;4)可控制空气渗透性;5)良好的可洗涤性;6)良好的尺寸稳定性;7)应变恢复性好;8)质量轻等。它主要包括微型器件、柔性器件和供电电源等<sup>[21]</sup>。

微型器件和柔性器件的研发加速了非纤维类智能服装材料应用于服装的实践<sup>[37-39]</sup>,而电子类产品的运作离不开供电电源。其中微型器件主要是一些智能传感器材料,如微芯片传感器、光纤传感器、压电传感器等,而柔性器件包括柔性显示器、软键盘和柔性开关等。供电电源是目前电子信息类服装发展的一个瓶颈,近些年一些新型供电方式的出现为电

子信息类服装的研发带来了新的动力。如太阳能电池、温差发电以及体能发电等。德国英飞凌公司研发出一种新型的硅基热能发电芯片,利用温差发电,其能够在 5 ℃ 的温差环境下输出  $1.0 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  的电量和 5 V/cm<sup>2</sup> 以上的电压。

美国 Auburn 大学和 Clemson 大学以及以色列 VISSON 公司等机构都在开发电子智能服装材料及其产品。如美国 George Tech Research 公司和 Sensa Tex 公司合作研发的可监测体温、血压、心跳、呼吸等生理指标的智能医护衬衫,芬兰 Reima-Tutta 服装公司以及拉普兰大学和坦佩雷理工大学合作研发的雪地救援智能服装,美国以及日本等国家正在研发

的可穿戴计算机等。

## 2 安全性服装设计

如前所述,安全性服装主要以安全为目的。本文所讨论的安全性服装特指智能化安全服装。智能服装材料作为安全因子,是智能化安全服装功能实现的物质基础,但其应用于服装可能会在舒适性、安全性方面产生新的问题,因此在安全性服装的研发过程中应做到功能设计、款式设计和色彩设计三位一体,同时结合多学科知识的交叉运用。图 2 示出安全性服装的设计模式。

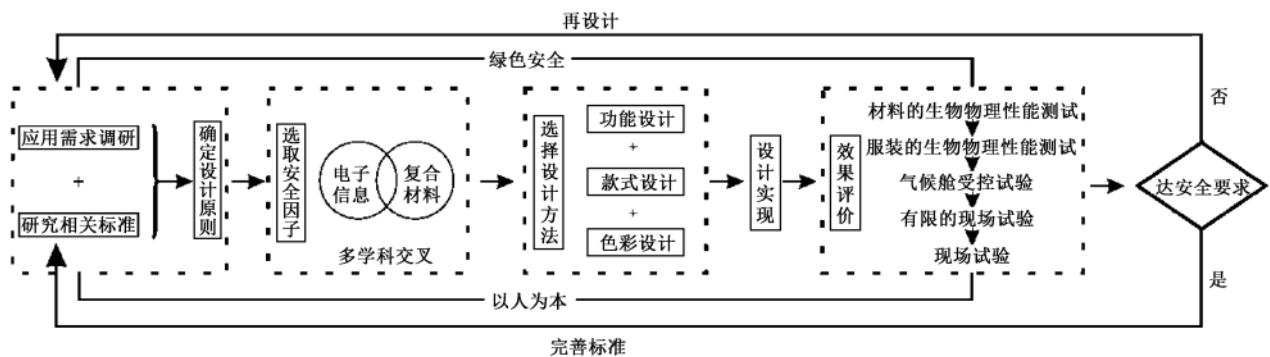


图 2 安全性服装的设计模式

Fig. 2 Design process of security clothing

### 2.1 设计原则

安全性服装的设计以用户为中心,安全是其主要目的,因此在智能服装材料应用于安全性服装的实践中要时刻牢记“以人为本,环保安全”的原则<sup>[40]</sup>,即要做到以下 3 点:一是对设计所针对的群体进行需求分析;二是对设计手段不断优化;三是确保整个过程的环保、安全化。安全性服装所谓的安全,需要经过一定的安全性评价,而标准是评定安全性服装安全与否的依据。另一方面,标准复杂多样:对同一类服装的国内外标准不一,如有国际标准 ISO、欧洲标准 EN、美国材料与试验协会标准 ASTM、英国标准学会标准 BS、国标 GB 等各种不同标准;不同的服装品类又对应不同的标准,如 ASTM D3995—2002《男人及妇女用针织职员工作服饰物的标准性能规范》规定了男女针织职业装的标准、GB/T 28468—2012《中小学生交通安全反光校服》规定了中小学生交通安全反光校服的相关标准等;亦或针对某一类服装并没有明确的标准可言,而这在电子智能服装材料应用于安全性服装的实践中普遍存在,因此在智能服装材料应用于安全性服装的实践中要注意对以标准维系的服装安全系统的构

建,以实现良性循环。

### 2.2 设计方法

与传统服装强调款式设计与色彩设计不同,智能服装材料应用于安全性服装的实践中要做到功能设计、款式设计和色彩设计的三位一体。

#### 2.2.1 功能设计

安全性服装的安全功能是首位,但智能服装材料有其特殊性,特别是电子类材料,它不能任意剪裁或编织,因此在智能服装材料应用于安全性服装的实践中有必要进行功能设计,比如根据服装款式和结构特点来设计柔性电路等。在进行功能设计时,应首先对目标用户的应用需求进行详细的调研与分析,同时分析与之相关的传统服装,找出其优缺点,去粗取精,以避免对现有有效部分再次设计带来的附加工作量。同时,搜集相关功能设计手段,并根据目标用户的需求顺序依次进行筛选<sup>[41]</sup>,在这个过程中注意协调好各功能之间的矛盾,明确最优功能设计方案。Buzan<sup>[42]</sup>在搜集设计手段时采用思想地图法,让思维以研究主题为中心不断向外发散,并以树枝状依次进行记录;Ashdown 等采用分区设计法将单兵毒气防护服分

为 8 个功能区域并相应进行设计;Knapp 提出层次决定法将防护服功能设计需求分为不同的层次,并依次在各层中选出合适的方法,从而确定设计方案<sup>[41]</sup>。这些功能设计的方法都为智能服装材料在安全性服装中的应用研究提供了参考。目前,智能服装材料应用于安全性服装的功能设计常用手段有材料选择、结构设计和附加设备等<sup>[41]</sup>,而具

体使用何种手段根据相应应用需求来定。表 1 示出安全性服装功能设计的常用手段。至于设计方案的可行性通过分级式测评确定,即从材料的生物物理性能测试、服装的生物物理性能测试、气候舱受控试验、有限的现场试验和现场试验 5 个方面<sup>[43]</sup>进行评价,并不断改进,以保证设计方案的可靠性,从而确定最终方案。

表 1 安全性服装功能设计常用手段

Tab. 1 Normal functional design methods for security clothing

功能	材料选择	结构设计	附加设备
安全防护	以用户为中心,根据安全隐患相应选择 <sup>[40]</sup>	多层结构设计;一体化设计等	添加传感器等设备
舒适合体	接触皮肤部位选择服用性较好的;确保一定的运动性	某些部位设计开口;利用褶裥、省等设计	添加松紧带等
易用便捷	有一定的通用性;方便管理,如易洗、快干、免烫等	容易穿脱且进行模糊设计(号型、气候适用性强)	在合适部位添加口袋等设备并设计成可拆卸等形式
标准规范	符合相关标准及规范	根据标准规范进行相应设计	符合相关标准及规范
美观耐用	满足时尚需求;有一定的耐久性	用精致的剪裁;对易磨损部位进行结构设计	质量轻、体积小的设备;增加耐用性的设备,如护膝等
价格适中	根据性价比进行选择	保证功能的前提下精简结构	是否添加;设备的性价比等

### 2.2.2 款式设计

安全性服装的款式设计主要是为增加服装的美观性,同时配合功能的实现,因此在安全性服装的款式设计中应围绕相应的功能展开,运用一些方法进行相应设计,如图案设计、刺绣等,从而达到服装的美观性与功能性统一。

针对服装款式进行设计的方法众多,也较为成熟,但安全性服装作为一种新型服装,在对其进行款式设计的实践中可借鉴经验相对较少。早期的安全性服装主要重功能轻设计,因此很多服装的美观性达不到用户的要求,近些年来以用户为中心的研发模式促进了科技与时尚的融合,从而使安全性服装更加时尚化与生活化。图 3 示出 Mino 公司研发的婴儿连体衣。其将英特尔 Edison 芯片隐藏在绿色可拆卸塑料乌龟内,同时对服装的图案进行设计,使之与乌龟协调。江南大学研发的定位幼儿园园服中,将 iBeacon 定位元件设计在校徽内,并针对校徽进行专门的设计,使之与服装形成一个有机的整体。

### 2.2.3 色彩设计

色彩与款式一样,一直以来都被设计师们视为服装设计三要素之一,因此在智能服装材料应用与安全性服装中对色彩设计的重要性不可小觑。2014 年 Mino 公司生产的婴儿连体衣中,对电子元件的设计采用绿色,从而让人摆脱电子元件的生硬与不安全感。目前,服装设计师们主要从色彩的面积、形状、



图 3 Mino 婴儿连体衣

Fig. 3 Mino baby onesies

位置、肌理等方面进行设计来实现服装的和谐,以达到功能设计、款式设计和色彩设计的三位一体。而微胶囊技术、纳米技术等先进技术<sup>[44]</sup>也为色彩设计提供了更多的支持。同时,每年的流行色也为色彩设计提供了指导<sup>[45]</sup>。

## 3 结 语

随着科学技术的发展以及人们安全意识的增强,一种以安全为主要目的的安全性服装受到了越来越多人的关注,而智能服装材料的发展以及其在安全性服装中的应用助力了安全性服装的发展。未来智能服装材料将朝着差别化和高性能化、复合化和系统化、商业化和时尚化等方向发展,而多学科知识的交叉运用也会为这种趋势提供更多的技术支持,从而推动智能服装材料在安全性服装中的应用研究,实现功

能设计、款式设计和色彩设计的三位一体。 **FZXB**

### 参考文献:

- [1] 张光磊,杜彦良. 智能材料与结构系统[M]. 北京:北京大学出版社,2010:1-3.  
ZHANG Guanglei, DU Yanliang. Intelligent Materials and Structure System [M]. Beijing: Peking University Press, 2010:1-3.
- [2] BONATO P. Wearable sensors and systems [J]. Engineering in Medicine and Biology Magazine, 2010, 29(3):25-36.
- [3] SAZONOV E, NEUMAN M R. Wearable Sensors: Fundamentals, Implementation and Applications [M]. Georgia: Academic Press Inc, 2010:23-55.
- [4] FUJIKAKE H, SATO H. Fabrication technology for flexible ferroelectric liquid crystal display devices using polymer walla and fibers [J]. Proc Asia Display, 2007(1):871.
- [5] SINGH A V, RAHMAN A, SUDHIR K V, et al. Bio-inspired approaches to design smart fabrics [J]. Materials & Design, 2012(36):829-839.
- [6] DONG X L, WEI G D. Nanotechnology in textiles finishment[J]. Modern Applied Science, 2009, 3(2):154.
- [7] SONG Y, RAHUL P N, ZOU M, et al. Superhydrophobic surfaces produced by applying a self-assembled monolayer to silicon micro/nano-textured surfaces[J]. Nano Res, 2009(2):143-150.
- [8] LUCIAN A O J. Fiber nanotechnology: a new platform for "green" research and technological innovations [J]. Cellulose, 2007(14):539-542.
- [9] CINZIA D V. 3D sensors and micro-fabricated detector systems [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2014(5):87-90.
- [10] LANGENHOVE L V. Smart Textiles for Medicine and Healthcare: Materials, Systems and Applications [M]. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2007:101-133.
- [11] SARIER N, ONDER E. Organic phase change materials and their textiles applications: an overview [J]. Thermochemica Acta, 2012(4):7-60.
- [12] TYAGI V V, KAUSHIK S C, TYAGI S K, et al. Development of phase change materials based microencapsulation technology for buildings: a review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011(15):1373-1391.
- [13] 邵丽华. 材料在服装设计中的创新应用研究[D]. 辽宁:沈阳航空航天大学, 2013:2-6.  
SHAO Lihua. The innovation application research of materials in clothing design [D]. Liaoning: Shenyang Aerospace University, 2013:2-6.
- [14] 沈雷, 方东根. 传感装置类安全性童装的研究分析[J]. 针织工业, 2014(11):57-59.  
SHEN Lei, FANG Donggen. Study and analysis of children's security clothing based on sensing device [J]. Knitting Industries, 2014(11):57-59.
- [15] 沈雷, 洪文进, 唐颖. 基于绿色时代下的新型安全性服装设计[J]. 上海纺织科技, 2013, 19(4):60-62.  
SHEN Lei, HONG Wenjin, TANG Ying. New safety clothing design under green era [J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2013, 19(4):60-62.
- [16] 曹立辉. 智能服装材料开发与应用研究[J]. 浙江纺织服装职业技术学院学报, 2010(3):25-28.  
CAO Lihui. The development and application of smart garment materials [J]. Journal of Zhejiang Textile & Fashion Vocational College, 2010(3):25-28.
- [17] 姚康德, 成国祥. 智能材料[M]. 北京:化学工业出版社, 2002:146-173.  
YAO Kangde, CHENG Guoxiang. Smart Materials [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002:146-173.
- [18] 杨艳玲, 李青山. 智能纤维的发展现状及应用前景[J]. 纺织科技进展, 2006(3):17-18, 22.  
YANG Yanling, LI Qingshan. Development status and application prospect of intelligent fibers [J]. Textile Science and Technology Progress, 2006(3):17-18, 22.
- [19] 于伟东. 纺织材料学[M]. 北京:中国纺织出版社, 2006:55-167.  
YU Weidong. Textile Materials [M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2006:55-167.
- [20] LENDLEIN A, KELCH S. Shape-memory polymers [J]. Angewandte Chemie International Edition, 2002, 41(12):2034-2057.
- [21] 姜怀. 智能纺织品开发与应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2013:433-438.  
JIANG Huai. The Development and Application of Intelligent Textiles [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2013:433-438.
- [22] 刘娜. 智能材料在服装上的应用[J]. 上海纺织科技, 2011, 39(7):5-7, 19.  
LIU Na. Application of smart materials in clothing [J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2011, 39(7):5-7, 19.
- [23] 邹奉元. 智能服装的设计和开发[J]. 装饰, 2008(1):24-26.  
ZOU Fengyuan. Design and exploitation of intelligent clothing [J]. Zhuangshi, 2008(1):24-26.
- [24] 谭立平. 智能军服材料与智能军服[J]. 棉纺织技术, 2003, 31(2):73-76.  
TAN Liping. Intelligent military fabric material and intelligent regimentals [J]. Cotton Textile Technology, 2003, 31(2):73-76.
- [25] TAO X. Smart Fibers, Fabrics and Clothing, Fundamental and Application [M]. Cambridge England:

- Woodhead Publishing Limited, 2001: 1 - 6.
- [26] 李倩, 徐军. 智能凝胶在纺织服装领域的应用[J]. 合成纤维, 2007(3): 26 - 29, 44.  
LI Qian, XU Jun. Application of intelligent gels in textile and clothing industry [J]. Synthetic Fiber in China, 2007(3): 26 - 29, 44.
- [27] 姚连珍, 杨文芳, 乔艳丽. 智能纤维及其纺织品的研究进展[J]. 印染, 2012(12): 43 - 46, 51.  
YAO Lianzhen, YANG Wenfang, QIAO Yanli. Progress in intelligent fibers and textiles [J]. China Dyeing & Finishing, 2012(12): 43 - 46, 51.
- [28] 周兰君, 徐军. 高分子水凝胶材料在智能纺织品领域的应用[J]. 上海纺织科技, 2010, 38(5): 5 - 8.  
ZHOU Lanjun, XU Jun. Application of polymer hydrogels in the field of intelligent textiles [J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2010, 38(5): 5 - 8.
- [29] LENDLEIN A, KELCH S. Shape-memory polymers [J]. Angewandte Chemie International Edition, 2002, 41(12): 2034 - 2057.
- [30] 沈雷, 洪文进. 智能纤维在智能安全服装设计中的应用研究[J]. 棉纺织技术, 2014, 42(6): 78 - 81.  
SHEN Lei, HONG Wenjin. Application research of intelligent fiber used in intelligent safety clothing [J]. Cotton Textile Technology, 2014, 42(6): 78 - 81.
- [31] 何厚康, 张瑜, 闫卫东, 等. 相变纤维的研究与发展[J]. 合成纤维, 2002(3): 18 - 20, 27.  
HE Houkang, ZHANG Yu, YAN Weidong, et al. Research and development of phase change fibers [J]. Synthetic Fiber in China, 2002(3): 18 - 20, 27.
- [32] CAO C S, KUKLANE K, HOLMER I. Cooling vests with phase change materials: the effect of melting temperature on heat strain alleviation in an extremely hot environment [J]. European Journal of Applied Physiology, 2011, 111: 1207 - 1216.
- [33] 陶肖明, 张兴祥. 智能纤维的现状与未来[J]. 棉纺织技术, 2002, 30(3): 139 - 144.  
TAO Xiaoming, ZHANG Xingxiang. The status-quo and the future of intelligent fiber [J]. Cotton Textile Technology, 2002, 30(3): 139 - 144.
- [34] 万震, 李克让, 谢均. 新型智能纤维及其纺织品的研究进展[J]. 针织工业, 2005(5): 43 - 46.  
WAN Zhen, LI Kerang, XIE Jun. Research progress of new intelligent fibers and textiles [J]. Knitting Industries, 2005(5): 43 - 46.
- [35] 顾超英. 世界光导纤维的开发生产应用与发展前景分析[J]. 化工文摘, 2008(1): 22 - 24, 28.  
GU Chaoying. Analysis of application and development prospects of optical fiber in the world [J]. China Chemicals, 2008(1): 22 - 24, 28.
- [36] 丁长坤, 程博闻, 任元林, 等. 导电纤维的发展现状及应用前景[J]. 纺织科学研究, 2006(3): 32 - 39, 25.  
DING Changkun, CHENG Bowen, REN Yuanlin, et al. Development situation and application prospect of conductive fiber [J]. Progress of Textile Science, 2006(3): 32 - 39, 25.
- [37] 田苗, 李俊. 智能服装的设计模式与发展趋势[J]. 纺织学报, 2014, 35(2): 109 - 115.  
TIAN Miao, LI Jun. Design mode and development tendency of smart clothing [J]. Journal of Textile Research, 2014, 35(2): 109 - 115.
- [38] 王守德, 刘福田, 程新. 智能材料及其应用进展[J]. 济南大学学报: 自然科学版, 2002, 16(1): 97 - 100.  
WANG Shoude, LIU Futian, CHENG Xin. Intelligent materials and their application [J]. Journal of Ji'nan University Sci & Tech, 2002, 16(1): 97 - 100.
- [39] 丁笑君, 邹奉元, 刘伶俐. 智能服装的应用及研发进展[J]. 现代纺织技术, 2006(2): 51 - 53.  
DING Xiaojun, ZOU Fengyuan, LIU Lingli. The application and development of intelligent materials [J]. Advanced Textile Technology, 2006(2): 51 - 53.
- [40] 沈雷, 方东根. 基于 iBeacon 技术的安全性服装设计[J]. 毛纺科技, 2015, 43(2): 48 - 52.  
SHEN Lei, FANG Donggen. Security clothing design based on iBeacon technology [J]. Wool Textile Journal, 2015, 43(2): 48 - 52.
- [41] 辛丽莎, 李俊, 王云仪. 防护服装功能设计模式研究[J]. 纺织学报, 2011, 32(11): 119 - 125.  
XIN Lisha, LI Jun, WANG Yunyi. Research on functional design pattern of protective clothing [J]. Journal of Textile Research, 2011, 32(11): 119 - 125.
- [42] BUZAN T. Use Both Sides of Your Brain [M]. New York: Plume, 1991: 20 - 65.
- [43] UMBACH K H. Physiological Tests and Evaluation Models for the Optimization of the Performance of Protective Clothing [M]. New York/London: Taylor & Francis, 1988: 139 - 161.
- [44] 张南哲, 柳乐仙. 纳米 TiO<sub>2</sub> 抗紫外线整理棉织物的染色性能[J]. 纺织学报, 2010, 31(5): 80 - 86.  
ZHANG Nanzhe, LIU Lexian. Dyeing performance of anti-ultraviolet cotton fabric treated with nano TiO<sub>2</sub> [J]. Journal of Textile Research, 2010, 31(5): 80 - 86.
- [45] 甘应进, 王强, 孟爽. 浅析服装色彩与影响因素[J]. 天津纺织科技, 2005(1): 43 - 46.  
GAN Yingjin, WANG Qiang, MENG Shuang. Analysis on color of garment and its influence factors [J]. Tianjin Textile Science & Technology, 2005(1): 43 - 46.