

# 智能礼服的研究现状和发展趋势

朱达辉<sup>1</sup>, 臧静怡<sup>2</sup>

(1. 东华大学 服装与艺术设计学院, 上海 200051; 2. 同济大学 上海国际设计创新研究院, 上海 200092)

**摘要:**智能礼服是一类涉及材料科学、光电技术、计算机科学等多领域技术的智能服装,具有广阔的市场前景。为推动智能技术与礼服的融合,满足现代设计需求,从智能礼服的技术与设计现状出发,分析智能礼服在设计中如何体现环境适应、情感反馈和交互特征。研究表明,变色、发光、变形、温控等技术是智能礼服目前设计中的关键技术;智能礼服在美观度与穿着舒适、技术集成与安全性、可持续性和耐用性、成本与市场接受度等方面仍存在一定的挑战。未来的研究重点应朝着更加互动、技术集成、环保及以人为本的方向发展,以扩大智能礼服的应用范围。

**关键词:** 智能礼服; 环境适应; 情感反馈; 交互

**中图分类号:** TS 941.26; TP 18 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2025)01-0016-08

## Research Status and Development Trends of Smart Gowns

ZHU Dahui<sup>1</sup>, ZANG Jingyi<sup>2</sup>

(1. College of Fashion and Design, Donghua University, Shanghai 200051, China; 2. Shanghai International College of Design and Innovation, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Smart gowns is a kind of smart dress involving disciplines such as material science, optoelectronics, and computer science, which has broad market prospects. To further promote the integration of smart technology with these gowns and meet modern design needs, starting from the technology and design status of intelligent dress, this paper analyzes how to reflect the characteristics of environmental adaptation, emotional feedback and interaction in the design of intelligent dress. This research shows that color changing, illumination, transformation, and temperature control are key technologies in current smart gown designs. There are still challenges in aesthetics, comfort, technological integration and safety, sustainability, durability, cost, and market acceptance that need addressing. Future research should focus on enhancing interactivity, integrating technology, promoting environmental sustainability, and adopting a human-centered design approach to expand the applications of smart gowns.

**Key words:** smart gowns, environmental adaptation, emotional feedback, interaction

随着服装产业智能化的推进,人们对礼服的需求发生了显著变化<sup>[1]</sup>,消费者不仅追求礼服的审美和时尚,也更加注重舒适性、功能性及个性化的体验,由此智能礼服应运而生。智能礼服除了具备礼服的夸张造型、新颖的设计、奢华的风格等特点<sup>[2]</sup>,还融入了最新科技元素,实现了服装与智能设备的交互,打破了人们对礼服的传统认知<sup>[3]</sup>。同时,随着材料科学的进步、微电子和传感器技术的集成,极大地丰富了智能礼服的功能性,为穿着者的社交

生活与日常活动提供了便利。智能礼服通过改良与革新,不仅增加了视觉美感,同时也为穿着者提供了更为舒适的穿着体验。

文中主要探讨智能礼服在可穿戴技术发展过程中的创新设计进展,分析其关键设计技术,根据感知、响应和反馈三要素将智能礼服进行分类;同时,对智能礼服的设计现状进行研究,指出智能礼服当前发展所遇到的挑战,最后对其未来趋势进行展望。

收稿日期: 2024-08-07; 修订日期: 2024-12-21。

基金项目: 国家社会科学基金项目(19BGL130); 教育部哲学社会科学研究重大课题项目(21JZD048)。

作者简介: 朱达辉(1973—),男,教授,博士生导师。主要研究方向为时尚科技与智能服装。Email: zhudahui2000@163.com

# 1 智能礼服的概念与市场动态分析

## 1.1 智能礼服的定义和特点

智能礼服是一种将传统礼服与信息技术相结合的创新产品,作为智能服装细分市场的典型代表之一,其设计应兼顾时尚性与科技性。在纺织材料中嵌入微型化、柔性化的电子元件并应用在智能礼服中,可以使其具备信息感知、计算分析和通信等多种功能<sup>[4]</sup>。

智能礼服保持了传统礼服的固有风格和使用性能,同时可通过其内置的反馈机制,对环境变化和自身状况进行实时响应<sup>[5]</sup>。智能技术在礼服中的应用提升了传统礼服的功能性<sup>[6]</sup>,拓展了设计师的创作边界,进而提升了礼服的实用性和独特性,同时满足现代消费者对礼服时尚与实用性的双重需求<sup>[7]</sup>。

## 1.2 智能礼服的分类

智能礼服的应用主要集中在时尚智能领域,基于感知、反馈和响应三要素<sup>[8]</sup>,可将其分为环境适应型、情感反馈型和交互式智能礼服。环境适应型智能礼服使用的智能材料(如温度感应和光敏变色材料),可根据环境变化自动调节其特性;情感反馈型智能礼服通过微型传感器可监测穿戴者的生理信号,并通过颜色、图案或光效的变化来表达穿戴者的情绪或状态;交互式智能礼服则利用柔性电子技术和传感器与外部设备互动,提供更多功能性体验。除此之外,智能礼服还可以根据不同生产方式,分为大规模生产和个性化定制等多种模式。智能礼服的兴起打破了传统时尚的界限,为穿戴者提供了前所未有的体验。随着技术进步和消费者需求变化,智能礼服的种类和功能预计将持续扩展和深化,从而推动时尚行业向着更加智能化、个性化和可持续发展方向前进。智能礼服分类如图 1 所示。

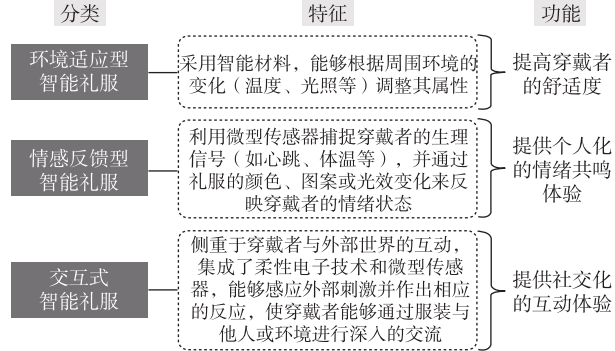


图 1 智能礼服分类  
Fig. 1 Smart gowns classification

## 1.3 智能礼服消费市场分析

智能礼服的发展方向包括:①新型技术如何应用于礼服服装设计上;②智能礼服不断拓展其应用范围,礼服应用场合逐渐从特殊场合延伸至多种场合。

《2024 年中国礼服市场调查分析与发展前景研究报告》<sup>[9]</sup>显示,随着全球经济逐渐复苏和消费升级,礼服市场规模持续扩大,消费者对礼服的需求日益增加,主要体现在个性化定制、功能需求及社交活动的需求变多,而智能礼服的兴起为传统礼服市场注入了新的活力。同时,借助交互技术,智能礼服能够实现图案和形态的动态调整,使得定制销售和定期订阅服务成为可能。

此外,企业在销售智能礼服的过程中,还可以提供附加的技术服务,如数据分析和虚拟试衣,从而进一步提升消费者的穿着体验。为了响应循环时尚,按需租赁已成为智能礼服发展的重要商业模式,该模式不仅满足了消费者在短期活动中的需求,而且有效减少了高成本购买带来的经济压力。

# 2 智能礼服中的关键技术

## 2.1 视觉效果技术

2.1.1 变色技术 色彩变化是智能礼服实现环境适应、情感反馈、人衣交互的重要途径之一。目前,热敏变色<sup>[10]</sup>、光敏变色<sup>[11]</sup>、电致变色<sup>[12]</sup>以及湿敏变色<sup>[13]</sup>等变色技术在智能服装设计中得到了广泛应用,改变了传统服装在展现图案和色彩方面的静态方式<sup>[9]</sup>,极大地拓展了纺织品的功能性和互动性。在智能礼服设计中,光敏变色、热敏变色技术的应用较为普遍,能够有效提高礼服的视觉吸引力和个性化表现。柔性电致变色器件研究起步虽相对较晚,但由于其多功能外形出色、可弯曲、不易破碎等特点,在智能服装领域应用前景较广<sup>[14]</sup>,电致变色器件通常为三明治结构,其基本构造如图 2<sup>[15]</sup>所示。

变色技术作为一种新型智能技术,能够在智能服装周围环境产生变化时,使服装颜色也随之发生变化。该技术通过整合柔性变色光纤技术和智能交互技术,使织物不仅能够实现动态的色彩变化,还能进行有效的信息交互<sup>[16]</sup>。此外,将热致变色技术与现代刺绣、5G 云通信技术相结合,有利于提升可穿戴智能纺织品的温度调节功能,并增加其实时动态显示的多样化功能,提升智能礼服的实用性<sup>[17]</sup>。

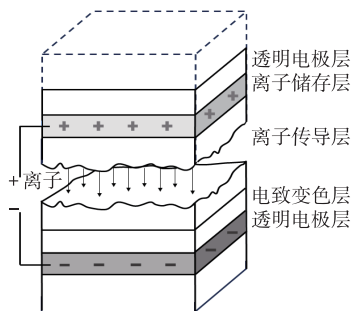


图 2 电致变色器件基本构造

Fig. 2 Basic structure of electrochromic device

光致变色技术利用特定波长光的照射来改变物质的分子结构和电子能级,从而实现在不同光照条件下的颜色变化<sup>[18]</sup>。该技术相较于需要复杂能量系统的发光纤维,展现了更高的适用性,特别是在轻量级的应用场景中<sup>[19]</sup>。将光致变色有机分子通过丝网印刷或染色技术分散加入纺织品中<sup>[20]</sup>,光敏变色技术能够在多种光线条件下展现出色彩变化能力<sup>[21]</sup>,为增强礼服的时尚性提供了新的设计思路。

**2.1.2 发光技术** 以光致发光、电致发光和力致发光技术为代表的部分智能技术具备在纺织品中集成发光的功能,在智能礼服互动中被广泛应用。光致发光技术依靠光的刺激产生发光效果,因其对环境友好且易于应用在纺织品中,在智能服装设计中较为常见。电致发光技术主要采用发光材料并通过电流刺激发光,具有强大的功能性和调控能力<sup>[22]</sup>。力致发光技术则利用物理变形或力的作用来产生光效,为智能服装设计提供了一种独特的互动方式<sup>[23]</sup>。以变色与发光技术为代表的智能技术集成不仅增强了智能礼服的视觉冲击感,突破了美学表现<sup>[24]</sup>,也使得礼服在信息显示、交流及娱乐方面展现出巨大的潜力<sup>[25]</sup>。LG Display 公开的可伸缩显示屏样机不仅轻薄,而且还可以贴在皮肤、衣服、家具等不规则的弯曲物体表面。未来有望应用于可穿戴、时尚等多种产业领域。LG 可伸缩显示屏样机如图 3<sup>[26]</sup>所示。



图 3 LG 可伸缩显示屏样机

Fig. 3 LG retractable display prototype

## 2.2 形态调整技术

智能礼服的开发和创新通过集成柔性变形纤

维技术,使服装具备变形致动的能力,以建立人与服装的电子互动<sup>[27-28]</sup>。该技术允许礼服根据外界环境的不同刺激作出响应,增强了其实用性和交互性方面的表现。具体而言,根据刺激类型,应用于服装中的变形技术可被划分为热响应变形、光响应变形和湿响应变形等类别<sup>[29]</sup>,其工作原理是基于材料对温度、光线或湿度变化的敏感反应,实现服装体积或形状的动态调整。此外,以复合织物结构制备而成的片状流体织物肌肉(fluidic fabric muscle sheets, FFMS),可以通过往弹性管内注入流体,实现织物的拉伸、弯曲以及挤压变形<sup>[30]</sup>,具体如图 4<sup>[30]</sup>所示。通过传感器技术、微电子技术和信息处理等智能技术,智能礼服能够实时感应环境变化,并与穿着者进行互动,响应外界的变化<sup>[31-32]</sup>。

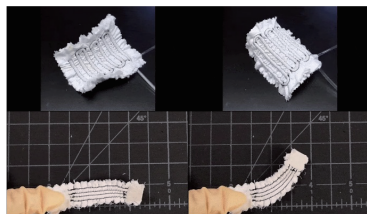


图 4 复合织物结构制备而成的片状流体织物肌肉

Fig. 4 Sheet fluid fabric muscle prepared by composite fabric structure

## 2.3 温度调节技术

穿着服装时的理想舒适环境是指人体皮肤与服装内侧之间的空气温度和湿度达到特定的适宜水平<sup>[33]</sup>。在空气温度为 $(32 \pm 1)^\circ\text{C}$ 和相对湿度为 $50\% \pm 10\%$ <sup>[34]</sup>时,人体感觉会更加舒适。然而在设计女性礼服时,由于主要聚焦于展示穿着者的身材及形象之美,常忽略服装与外界环境的适配性,易降低穿着者的身体舒适性。因此,在智能礼服设计中融合精确的温、湿度调节机制,实现针对个体的全天候热湿度管理具有一定的必要性。

根据功能特性调温技术在智能礼服中的应用主要分为保暖型、降温型以及双向调节型 3 大类<sup>[35]</sup>;按其能量来源的不同,可分为主动调温和被动调温 2 大类<sup>[33]</sup>。在被动调温领域,相变材料(phase change material, PCM)较为前沿<sup>[36]</sup>,其核心在于将改性材料的微胶囊涂覆于织物表面或植入织物纤维内,使材料在固液态相互转化过程中吸收或储存能量,从而调节外界温度<sup>[37]</sup>。PCM 相变材料微胶囊化方法如图 5<sup>[38]</sup>所示。通过涂层法、纤维与纱线的融合以及相变材料的包裹等方式,纺织品能够双向调节温度<sup>[39]</sup>,从而提升服装的舒适性,使人体能够维持在一个恒定的舒适温度范围内,实现被动热管理。



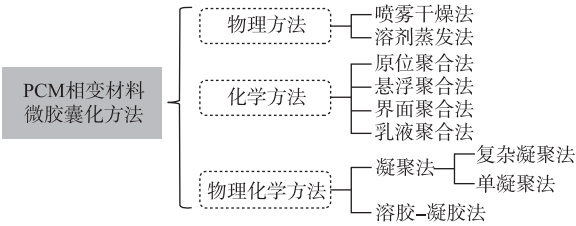


图 5 PCM 相变材料微胶囊化方法

Fig. 5 Microencapsulation method of PCM phase change material

尽管被动调温技术在规模化生产方面具有一定的优势,但其温度调节能力却受到较多限制<sup>[40]</sup>,尤其是在提升隔热性能方面,因此在智能礼服设计中的应用相对较少<sup>[41]</sup>。被动调温的运用往往需要结合其他新技术或材料,以交叉方式应用在智能服装<sup>[42]</sup>。为进一步提高服装的调温效率,主动调温技术被应用于服装设计<sup>[43]</sup>。该技术通过操纵红外辐射、热传导、热对流以及汗液蒸发等多种物理过程,实现对温度的精准调节<sup>[34]</sup>。如 LU Y H 等<sup>[44]</sup>开发了一种结合相变材料和换气扇的新型个人制冷系统(primary cooling system, PCS),解决了相变材料的传导冷却并非在所有环境条件下都有效的问题。主动调温技术与被动调温技术的融合对改善礼服的热湿度管理具有重要意义。

2.4 柔性电子技术

柔性电子技术的集成在智能礼服的制备中体现出显著优势,它不仅有助于减少服装的质量和体积,还能增强智能礼服的功能,达到提升礼服实用性和舒适性的目的<sup>[45-46]</sup>。在柔性衬底上使用有机或无机材料。能够制造柔性电子器件<sup>[47]</sup>。随着高性能电子材料和微纳制造技术的快速进步,柔性电子器件的力学和电学性能不断提升,与人体组织的相容性也得到了显著改善,能够确保穿戴者在不同环境下获取最优舒适度<sup>[47]</sup>。柔性传感器分类如图 6<sup>[48]</sup>所示。

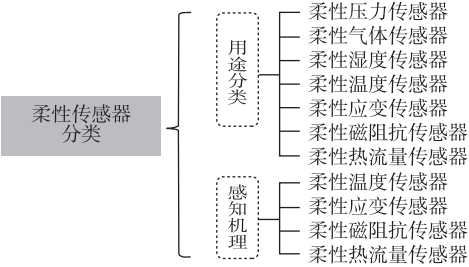


图 6 柔性传感器分类

Fig. 6 Classifications of flexible sensors

采用柔性电子技术制备而成的柔性传感器,是智能礼服实现内外联通的重要器件之一,被应用于情感反馈型及交互式智能礼服的开发。柔性电子

技术具有良好的柔韧性、延展性和贴合性,能够精准收集和感知外界以及穿戴者的信息<sup>[49]</sup>。采用柔性电子技术制备的传感器,能够检测并响应外部物体的受力形变,将其转换为电信号或光信号<sup>[50]</sup>。这些功能不仅有助于实时监测穿戴者的生理指标(如体温和心率等),还可以结合其他电子设备,根据环境变化或穿戴者的情绪和健康状态等调整服装的性能(如温度调节),实现对血压和生化成分的监测功能,具体如图 7<sup>[51]</sup>所示。

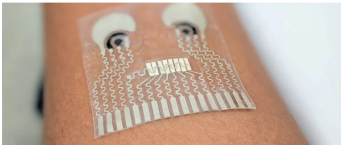


图 7 有血压和生化成分监测功能的柔性传感器

Fig. 7 Flexible sensor with blood pressure and biochemical component monitoring

为进一步掌握礼服内外部环境的变化,CHEN J X 等<sup>[52]</sup>开发了一种基于湿法纺丝法制备的温度传感器,该传感器以纤维形态被整合到纺织品中,可检测穿戴者的体温或外界温度变化。结合传感器技术,智能礼服能够实时监测礼服内外部的情况,并作出反馈,确保穿戴者在不同环境下的舒适度,或是实现场景间的互动。

3 智能礼服的研究现状

3.1 环境适应型智能礼服

环境适应型智能礼服利用先进的智能技术,根据周边环境变化(如温度、光照等)自动调整其属性,改变外观形态以适应外界条件,或是提升穿戴者的穿着舒适度。在 2023 年的巴黎时装秀上,ANREALAGE 品牌巧妙地将光致变色技术融入人造皮草、天鹅绒、蕾丝及针织等多种面料中,使得礼服能够在紫外线光源(如太阳光)下,实现颜色的变化。同时,Zac Posen 品牌也展示了一种整合了光纤技术的发光智能礼服,在光线昏暗的环境中,这些礼服通过微型电池供电能够自动发光,将科技与时尚的结合推向了新的高度(见图 8<sup>[53]</sup>)。

此外,东华大学王宏志教授团队将电致变色技术应用在旗袍中,拓宽了智能礼服的应用领域<sup>[54]</sup>。该旗袍融合了与 A4 纸厚度相当的可折叠变色片,并应用于柔软且贴合皮肤的面料中,实现了快速、均匀的多色变化,使旗袍很好地融入环境。

在提升礼服保暖性能方面,丁林静等<sup>[55]</sup>基于相变材料技术,开发了一种新型的可调温礼服内衬,旨在实现保暖与舒适性的双重优化,展现智能调温

纺织品在礼服设计中巨大的应用潜力。类似技术的应用示例还包括冬奥会期间礼仪人员穿着的“唐花飞雪”主题礼服,该礼服采用聚酰亚胺纤维和石墨烯柔性织物发热材料,提升了礼仪人员在寒冷环境中的穿着舒适度。通过智能温控技术,这些礼服能够实现精确的温度调节,在保证材质轻薄的同时,也满足了保暖性和审美需求。



图 8 Zac Posen 定制礼服

Fig. 8 Zac Posen custom dress

### 3.2 情感反馈型智能礼服

情感反馈型智能礼服可通过集成微型传感器来捕捉穿戴者的生理信号(如心跳和体温等),同时以颜色、图案或光效的变化映射穿戴者的情绪状态,提供高度个性化的情感共鸣体验。由美国设计师 Behnaz Farahi 设计的交互式 3D 打印可穿戴礼服“Caress of the Gaze”,利用生物反馈技术进行服装形态变化,可与人进行互动。该服装将 3D 打印技术和形状记忆合金制动器(shape memory alloy, SMA)相结合,形成一种类似于肌肉的系统,礼服的表面由形状记忆合金做成的鳞片状,在感知到旁人目光的时候能自动作出形变,具体如图 9<sup>[56]</sup>所示。情感反馈型的智能礼服通过动态变化的外观传递情感和反应,展示了智能礼服在情感表达和交流方面新的可能性。

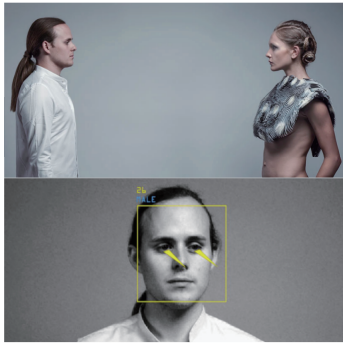


图 9 Caress of the Gaze 可穿戴礼服

Fig. 9 Caress of the Gaze wearable dress

### 3.3 交互式智能礼服

交互式智能礼服由服装本体、传感器、处理器、执行器及电子单元等构成<sup>[57]</sup>,可增强穿戴者与环境

及他人之间的互动。这种礼服设计让穿戴者能够通过衣物与外界进行深层次的交流,进而提供一种新型的社交互动体验。

Adobe 公司在 2023 年推出的“Project Primrose”交互式礼服,展示了智能技术与服装设计结合的另一维度。该礼服采用了响应外部因素的非发光可穿戴纺织品,可以根据用户反馈及时改变礼服设计和风格。用户可以使用 Adobe 软件自主设计图案,创造出动画和多样化视觉效果,增强礼服的个性化和互动体验。Project Primrose 交互式礼服如图 10<sup>[58]</sup>所示。



图 10 Project Primrose 交互式礼服

Fig. 10 Project Primrose interactive dress

在智能纺织品领域,由英特尔与时尚品牌 Chromat 合作推出的智能礼服利用 Curie 硬件平台监测用户肾上腺素分泌的生理指标。在该礼服的背部融入形状记忆合金和碳纤维支架后,可以根据侦测到的数据动态调整形态。当衣物中的形状记忆合金被激活时,其能够自动扩展碳纤维支架使之呈现沙漏状,一方面增加礼服后背部位的通风孔,有效帮助穿着者散热,以保持身体凉爽;另一方面提升礼服形态美感,最终达到提升用户穿着体验的目的(见图 11<sup>[59]</sup>)。

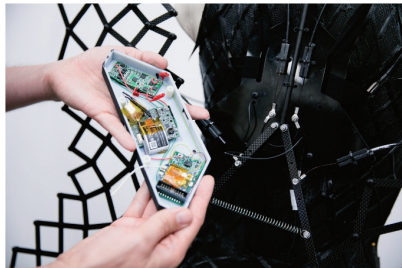


图 11 Chromat Adrenaline 智能礼服

Fig. 11 Chromat Adrenaline smart dress

类似的还有荷兰设计师 Anouk Wipprecht 设计的“Spider Dress”,其采用 3D 打印技术,内置 Intel Edison 芯片、呼吸感应器和距离感应器,可以监测穿戴者的心跳、压力、呼吸频率,同时还可以系统监视 7 m 内人的行为,并基于数据作出反馈(见图 12<sup>[60]</sup>)。将芯片和可穿戴柔性元件等应用在服装中不仅提升了服装的技术性能,同时增加了穿着者与



环境的互动性,开辟了智能礼服设计的新方向。



图 12 Spider Dress 3D 打印智能礼服  
Fig. 12 Spider Dress 3D printed smart dress

## 4 智能礼服的未来发展趋势

### 4.1 美观度与穿着舒适性

随着科技的持续进步,智能礼服将更强调人性化设计,旨在实现个性化与功能性的完美结合,满足穿着者对美观度的需求,同时展现出独特的风格。通过响应式设计,礼服可以根据穿着者的身体状态以及周围环境进行自动调整,实现人、服装、环境之间的和谐共生。以刺激响应性聚合物(stimuli responsive polymer, SRP)等为代表的响应式智能材料被广泛用于服装设计中,使得纺织品具备智能特质<sup>[61-62]</sup>。此外,随着可穿戴技术向轻量化、柔性化、高性能和可洗涤性方向发展,智能礼服的服用性有望进一步提升,在视觉、触感、舒适性等方面为穿戴者带来全新的穿着体验。

### 4.2 技术集成与安全性

在智能礼服的发展中,技术的集成与安全性成为核心考量。随着智能组件和电池技术的进步,在服装中集成这些设备变得愈加可行。如何确保组件及技术的安全运作,避免过热或电磁辐射可能带来的风险,同时保护用户的个人隐私,仍是设计与技术创新必须解决的核心问题之一。如可在智能设备发送信息之前扰乱智能穿戴设备收集的数据,以防止第三方服务器泄露用户隐私<sup>[63]</sup>、或是建立基于区块链的个人数据保护机制等<sup>[64]</sup>,提高智能礼服在实际应用中的穿戴安全性,助力电子元件与智能可穿戴技术实现更深度的融合,将是推动未来智能礼服发展的关键。

### 4.3 可持续性和耐用性

可持续性和耐用性是智能礼服设计的重要考虑因素之一。目前的智能元件及材料在耐久度上有所不足,礼服的寿命较短,部分材料在生产过程中的高能耗也与可持续发展的目标相悖。因此,积极探索更环保的解决方案显得尤为重要。通过从服装的制造工艺和材料选择入手,将酶生物燃料电池(enzymatic biofuel cells, EBFC)无缝集成到智能纺织品中<sup>[65]</sup>,能够实现纺织品的连续发电,降低有

害物质的释放,还能提高其生物降解性。这将有利于减少礼服行业对环境的负面影响,推动时尚产业向更加绿色环保和可持续方向发展。

### 4.4 成本与市场接受度

尽管智能礼服提供了多样化和高端的穿戴体验,但其推广仍然面临成本和市场接受度的挑战,消费者对于价格的敏感性成为智能礼服普及的关键因素。随着智能可穿戴技术的进步和生产规模的增加,智能礼服的成本预计将逐渐降低,从而使高科技产品更加亲民,进一步提升市场对智能礼服的接受度。

## 5 结 语

文中主要从视觉效果技术、形态调整技术、温度调节技术、柔性电子技术等智能可穿戴前沿技术的发展现状入手,总结分析智能技术在环境适应型、情感反馈型和交互式智能礼服中的应用现状,探讨智能礼服的未来发展趋势。目前,关于智能礼服的研究及设计仍处于初级阶段,智能礼服的发展受到技术安全、服装的可持续性与耐用性、成本效益和市场接受度等方面的挑战。针对智能礼服发展中的问题,未来的研究重点将进一步强调美学与人性化的结合,礼服有望更加美观、柔性、轻量,在可持续利用和服装安全性上也将得到提升。通过整合最新的智能可穿戴技术,未来智能礼服将进一步提高互动性和技术集成度,同时朝着环保和以人为本的方向发展,从而开拓更广泛的应用可能。

### 参考文献:

[1] 吕秀君,孙艳丽,齐晓晓,等. 智能服装技术发展现状及建议[J]. 毛纺科技, 2020, 48(8): 96-99.  
LYU Xiujun, SUN Yanli, QI Xiaoxiao, et al. Development status and suggestions of intelligent clothing technology[J]. Wool Textile Journal, 2020, 48(8): 96-99. (in Chinese)

[2] 杨丽. 礼服设计中面料性能与立体造型效果——评《高级服装设计与面料》[J]. 毛纺科技, 2022, 50(3): 133-134.  
YANG Li. Fabric performance and stereo modeling effect in dress design—comment on *Advanced Fashion Design and Fabric* [J]. Wool Textile Journal, 2022, 50(3): 133-134. (in Chinese)

[3] 李珍. 现代礼服的创意性设计——评《绅士着装圣经 2: 礼服》[J]. 毛纺科技, 2021, 49(10): 124-125.  
LI Zhen. The creative design of modern dress—comment on *The Gentleman Dress Bible 2: Dress* [J]. Wool Textile Journal, 2021, 49(10): 124-125. (in Chinese)

[4] 胡亦雯,唐虹,葛睿. 健康监测智能服装的发展现状及趋势[J]. 针织工业, 2023(6): 82-85.  
HU Yiwen, TANG Hong, GE Rui. Development status and prospect of health monitoring smart clothing[J]. Knitting Industries, 2023(6): 82-85. (in Chinese)

[5] 方东根,沈雷. 智能服装材料研究概述[J]. 针织工业, 2016(1): 42-46.

- FANG Donggen, SHEN Lei. A research overview of smart garment material[J]. Knitting Industries, 2016(1): 42-46. (in Chinese)
- [6] 沈雷, 孙滢. 智能可穿戴领域研究现状和发展趋势[J]. 服装学报, 2023, 8(2): 125-133.
- SHEN Lei, SUN Tian. Intelligent wearable research status and its development trend[J]. Journal of Clothing Research, 2023, 8(2): 125-133. (in Chinese)
- [7] 侯子健. 基于 LilyPad Arduino 的智能礼服设计研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2024.
- [8] 吴云, 刘茜. 可穿戴智能纺织品研究现状及展望[J]. 棉纺织技术, 2018, 46(6): 79-84.
- WU Yun, LIU Qian. Research status and prospect of wearable intelligent textiles[J]. Cotton Textile Technology, 2018, 46(6): 79-84. (in Chinese)
- [9] 2024 年中国礼服市场调查分析与发展前景研究报告[R/OL]. [2024-08-05]. <https://www.cir.cn/0/62/LiFuShiChangDiaoYanBaoGao.html>.
- [10] YANG L, MENG J G, YU L J, et al. Reversible dual-responsive color-changing fabric based on thermochromic microcapsules for textile fashion and intelligent monitoring[J]. Dyes and Pigments, 2024, 231: 112397.
- [11] ZHENG Z F, FAN J, WU H Y, et al. High-performance color and fluorescence switching of cotton fabrics via light-induced proton transfer strategy of spiropyran sulfonate molecule[J]. Industrial Crops and Products, 2024, 219: 119130.
- [12] WANG Y D, JIANG W, LI M J, et al. Multifunctional electrochromic yarns for variable optical and thermal regulation[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2024, 277: 113113.
- [13] 徐娜, 苏云, 李俊. 智能变色材料的研究及应用进展[J]. 棉纺织技术, 2022, 50(4): 78-84.
- XU Na, SU Yun, LI Jun. Research progress of intelligent color-changing materials and their application in textiles[J]. Cotton Textile Technology, 2022, 50(4): 78-84. (in Chinese)
- [14] 杨晨, 王兴驰, 刘永坤, 等. 织物基柔性电致变色器件制备及其性能研究[J]. 纺织科学与工程学报, 2023, 40(4): 19-25.
- YANG Chen, WANG Xingchi, LIU Yongkun, et al. Preparation of fabric-based flexible electrochromic devices and their performance study[J]. Journal of Textile Science and Engineering, 2023, 40(4): 19-25. (in Chinese)
- [15] 龙猫. 电致变色器件基本构造[EB/OL]. (2024-08-05) [2025-02-17]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/554138851>.
- [16] LI P, SUN Z H, WANG R, et al. Flexible thermochromic fabrics enabling dynamic colored display[J]. Frontiers of Optoelectronics, 2022, 15(1): 40.
- [17] WANG Y, REN J, YE C, et al. Thermochromic silks for temperature management and dynamic textile displays[J]. Nano-Micro Letters, 2021, 13(1): 72.
- [18] 程沛闻, 刘茜, 孙哈哈. 光致变色纺织品制备技术的研究进展[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2024, 50(4): 183-190.
- CHENG Peiwen, LIU Qian, SUN Hanhan. Research progress in preparation technology of photochromic textile[J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2024, 50(4): 183-190. (in Chinese)
- [19] ZHANG J, XIA Z G, SHUM P P. Revolutionizing wearable: multicolored photochromic fiber opens new frontiers in human-machine interaction[J]. Advanced Fiber Materials, 2024, 6(3): 619-621.
- [20] ZHANG H Y, FAN J, CHENG H Y, et al. High optical contrast, dual-responsive, wearable photochromic fibers for smart textile engineering[J]. Surfaces and Interfaces, 2024, 51: 104795.
- [21] 郭静, 胡钊, 张红娟, 等. 光致变色纺织品的制备方法及其应用[J]. 上海纺织科技, 2022, 50(12): 8-12, 43.
- GUO Jing, HU Fan, ZHANG Hongjuan, et al. Preparation and application of photochromic fabric and its application[J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2022, 50(12): 8-12, 43. (in Chinese)
- [22] 赵世康, 王航, 田明伟. 平行电极式电致发光纱线的构筑成型及其水上救援可穿戴应用[J]. 现代纺织技术, 2024, 32(4): 45-51.
- ZHAO Shikang, WANG Hang, TIAN Mingwei. Construction molding of a parallel electrode electroluminescent yarn and its application in water rescue wearables[J]. Advanced Textile Technology, 2024, 32(4): 45-51. (in Chinese)
- [23] 孙雅欣, 常辰玉, 史晟, 等. 被动发光材料在智能纺织品中的应用研究进展[J]. 针织工业, 2023(12): 109-114.
- SUN Yaxin, CHANG Chenyu, SHI Sheng, et al. Research progress in the application of passive luminescent materials in clothing[J]. Knitting Industries, 2023(12): 109-114. (in Chinese)
- [24] 高晗, 迟祥, 宋晓雪, 等. 发光纤维的研究进展[J]. 功能材料, 2021, 52(2): 2085-2097.
- GAO Han, CHI Xiang, SONG Xiaoxue, et al. Research progress of luminescent fiber[J]. Journal of Functional Materials, 2021, 52(2): 2085-2097. (in Chinese)
- [25] GONG Z D, XIANG Z Y, OUYANG X, et al. Wearable fiber optic technology based on smart textile: a review[J]. Materials, 2019, 12(20): 3311.
- [26] 佚名. LG Display 研发出全球首款高分辨率可伸缩显示屏[EB/OL]. [2024-08-05]. <https://news.lgdisplay.com/zh-hans/>.
- [27] ZHENG M R, LIU M Y, CHENG Y, et al. Stimuli-responsive fiber/fabric actuators for intelligent soft robots: From current progress to future opportunities[J]. Nano Energy, 2024, 129: 110050.
- [28] GAO Q, AGARWAL S, GREINER A, et al. Electrospun fiber-based flexible electronics: fiber fabrication, device platform, functionality integration and applications[J]. Progress in Materials Science, 2023, 137: 101139.
- [29] 顾伟, 侯成义, 张青红, 等. 智能服装的现状及其发展趋势[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2019, 45(6): 837-843.
- GU Wei, HOU Chengyi, ZHANG Qinghong, et al. Present situation and development trend of intelligent garment[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2019, 45(6): 837-843. (in Chinese)
- [30] ZHU M J, DO T N, HAWKES E, et al. Fluidic fabric muscle sheets for wearable and soft robotics[J]. Soft Robotics, 2020, 7(2): 179-197.
- [31] LYU J, SUI Y, CHEN D S. The application and development of smart clothing[C]// Advances in design for inclusion. Cham: Springer International Publishing, 2020: 500-504.
- [32] 蒋高明, 刘海桑, 夏凤林, 等. 纺织科技发展前沿[J]. 服装学报, 2024, 9(1): 1-10.
- JIANG Gaoming, LIU Haisang, XIA Fenglin, et al. Textile science and technology development frontier[J]. Journal of Clothing Research, 2024, 9(1): 1-10. (in Chinese)
- [33] ZHAO Z H, SONG X D, ZHANG Q, et al. Copper sulfide and polyelectrolyte decorated textiles for active/passive personal thermal management[J]. Chemical Engineering Journal, 2024, 480: 148258.
- [34] LIU R L, WANG Y Z, FAN W Q, et al. Adaptive dynamic smart textiles for personal thermal-moisture management[J]. European Polymer Journal, 2024, 206: 112777.
- [35] 金鹏, 薛哲彬, 沈雷, 等. 可调温材料在服装中的应用及性能测试评价[J]. 针织工业, 2020(4): 66-69.

JIN Peng, XUE Zhebin, SHEN Lei, et al. Application of thermo-regulated materials in clothing and performance testing evaluation [J]. Knitting Industries, 2020(4): 66-69. (in Chinese)

[36] KIZILDAG N. Smart textiles with PCMs for thermoregulation [M]//Multifunctional Phase Change Materials. Amsterdam: Elsevier, 2023: 445-505.

[37] 贺润音, 吴雨曦, 王朝晖, 等. 相变材料调温服装调温性能研究进展[J]. 国际纺织导报, 2020, 48(11): 47-54.  
HE Runyin, WU Yuxi, WANG Zhaohui, et al. Research progress of temperature regulating properties of PCM fabrics[J]. Melliand China, 2020, 48(11): 47-54. (in Chinese)

[38] 李永超. 微胶囊相变材料的制备及热性能研究[D]. 济南: 山东轻工业学院, 2010.

[39] 王凌宇, 李艳梅. 相变材料在纺织服装上的应用及发展趋势[J]. 针织工业, 2023(11): 4-8.  
WANG Lingyu, LI Yanmei. Application and development trend of phase change materials in textile and clothing[J]. Knitting Industries, 2023(11): 4-8. (in Chinese)

[40] JING Y Y, DU M Z, ZHANG P Y, et al. Advanced cooling textile technologies for personal thermoregulation [J]. Materials Today Physics, 2024, 41: 101334.

[41] 马亮, 李俊. 多种智能技术在防寒服装功能研发中的应用进展[J]. 纺织学报, 2022, 43(6): 206-214.  
MA Liang, LI Jun. Application progress in cold protective clothing based on multiple intelligent technologies[J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(6): 206-214. (in Chinese)

[42] 董梦杰, 郝新敏, 梁高勇, 等. 相变材料在调温服装领域的应用研究进展[J]. 毛纺科技, 2024, 52(1): 122-127.  
DONG Mengjie, HAO Xinmin, LIANG Gaoyong, et al. Research progress of phase change materials in the field of temperature regulating clothing[J]. Wool Textile Journal, 2024, 52(1): 122-127. (in Chinese)

[43] WANG F Q, LIU Y M, YU J Y, et al. Recent progress on general wearable electrical heating textiles enabled by functional fibers [J]. Nano Energy, 2024, 124: 109497.

[44] LU Y H, WEI F R, LAI D D, et al. A novel personal cooling system (PCS) incorporated with phase change materials (PCMs) and ventilation fans: an investigation on its cooling efficiency[J]. Journal of Thermal Biology, 2015, 52: 137-146.

[45] 晚春雪, 吴子悦, 黄显. 柔性可穿戴传感与智能识别技术研究进展[J]. 中国科学: 化学, 2022, 52(11): 1913-1924.  
WAN Chunxue, WU Ziyue, HUANG Xian. Research progress in flexible wearable sensing and intelligent recognition techniques [J]. Scientia Sinica Chimica, 2022, 52(11): 1913-1924. (in Chinese)

[46] 汪婉婉, 赵蒙蒙. 传感器件在智能监测服装中的应用[J]. 产业用纺织品, 2024, 42(1): 8-14.  
WANG Wanwan, ZHAO Mengmeng. Application of sensor in intelligent monitoring garments[J]. Technical Textiles, 2024, 42(1): 8-14. (in Chinese)

[47] 李颀, 王丽华, 樊春海, 等. DNA 水凝胶的构建及柔性电子应用 [J]. 高分子学报, 2024, 55(6): 1-18.  
LI Qi, WANG Lihua, FAN Chunhai, et al. Construction of DNA hydrogels and flexible electronics applications[J]. Acta Polymerica Sinica, 2024, 55(6): 1-18. (in Chinese)

[48] 岳欣琰, 杨雅晴, 韩潇, 等. 基于柔性传感器的智能服装研究进展[J]. 纺织科技进展, 2023(6): 4-8.  
YUE Xinyan, YANG Yaqing, HAN Xiao, et al. Research progress on smart clothing based on flexible sensors[J]. Progress in Textile Science and Technology, 2023(6): 4-8. (in Chinese)

[49] 吴杰. 基于柔性传感器的智能服装设计与应用[J]. 西部皮革, 2024, 46(7): 123-125.

WU Jie. Research on intelligent clothing design and application based on flexible sensor[J]. West Leather, 2024, 46(7): 123-125. (in Chinese)

[50] 门海蛟, 宋健尧, 黄秉经, 等. 柔性可穿戴电子应变传感器的研究进展[J]. 材料导报, 2023, 37(21): 45-67.  
MEN Haijiao, SONG Jianyao, HUANG Bingjing, et al. Recent advances in flexible and wearable strain sensors [J]. Materials Reports, 2023, 37(21): 45-67. (in Chinese)

[51] SEMPIONATTO J R, LIN M Y, YIN L, et al. An epidermal patch for the simultaneous monitoring of haemodynamic and metabolic biomarkers[J]. Nature Biomedical Engineering, 2021, 5(7): 737-748.

[52] CHEN J X, WEN H J, ZHANG G L, et al. Multifunctional conductive hydrogel/thermochromic elastomer hybrid fibers with a core-shell segmental configuration for wearable strain and temperature sensors[J]. ACS Applied Materials and Interfaces, 2020, 12(6): 7565-7574.

[53] 你会想要一件能发光的裙子吗? [EB/OL]. (2016-12-05) [2024-08-05]. [https://www.vogue.com.cn/invogue/industry/news\\_14525dda6ace202f.html](https://www.vogue.com.cn/invogue/industry/news_14525dda6ace202f.html).

[54] LI K, SHAO Y, YAN H, et al. Lattice-contraction triggered synchronous electrochromic actuator [J]. Nature Communications, 2018, 9(1): 4798.

[55] 丁林静, 陈旭, 曹雨婷, 等. 基于相变材料技术的礼服内衬的设计与性能 [J]. 上海纺织科技, 2020, 48(2): 50-53.  
DING Linjing, CHEN Xu, CAO Yuting, et al. Design and performance of dress lining based on phase change material technology[J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2020, 48(2): 50-53. (in Chinese)

[56] FARAHI B. Caress of the Gaze [EB/OL]. (2016-03-21) [2024-08-05]. <https://behnazfarahi.com/caress-of-the-gaze/>.

[57] 姚之杰, 朱达辉. 基于微机电系统惯性传感器的智能服装研究进展[J]. 毛纺科技, 2023, 51(10): 109-115.  
YAO Zhijie, ZHU Dahui. Research progress on smart clothing based on MEMS inertial sensors[J]. Wool Textile Journal, 2023, 51(10): 109-115. (in Chinese)

[58] 马晓玉. 可交互式连衣裙实现“瞬间变装” Adobe + AI 碰撞出新火花 [EB/OL]. (2023-10-07) [2024-08-05]. <https://news.qq.com/rain/a/20231017A08OIC00>.

[59] CO. N A. Intel chromat adrenaline dress [EB/OL]. (2015-09-15) [2024-08-05]. <https://www.hollywoodrebond.com/adobe-max-project-primrose/>.

[60] SVADJA H. Anouk's new creation: intel edison based spider dress 2.0 [EB/OL]. [2024-08-05]. <https://makezine.com/article/digital-fabrication/3d-printing-workshop/anouks-new-creation-the-spider-dress/>.

[61] LAM K Y, LEE C S, RACHEL Yie Hang Tan. NIR-induced photothermal-responsive shape memory polyurethane for versatile smart material applications[J]. RSC Advances, 2024, 14(33): 24265-24286.

[62] PENG Y C, CUI Y. Advanced textiles for personal thermal management and energy[J]. Joule, 2020, 4(4): 724-742.

[63] YANG M H, GUO J Q, ZHAO Z Y, et al. Teenager health oriented data security and privacy protection research for smart wearable device [J]. Procedia Computer Science, 2020, 174: 333-339.

[64] ZHU R R, WANG M F, ZHANG X F, et al. Investigation of personal data protection mechanism based on blockchain technology [J]. Scientific Reports, 2023, 13(1): 21918.

[65] CAI J S, SHEN F, ZHAO J Q, et al. Enzymatic biofuel cell: a potential power source for self-sustained smart textiles [J]. iScience, 2024, 27(2): 108998. (责任编辑:张雪)