

电子纺织品标准的开发进展

殷瑜敏¹ 甘以明² 张湿涵¹ 赵佳文¹ 孟粉叶³ 胡吉永^{1,4}

1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620;
2. 广东职业技术学院, 广东 佛山 528041;
3. 嘉兴职业技术学院 时尚设计学院, 浙江 嘉兴 314036;
4. 安徽恒益智能科技股份有限公司, 安徽 界首 236500

摘要: 电子纺织品标准是推动其商业化及规范生产、检验的前提与依据。世界各协会/学会等社会组织已着手建立电子纺织品术语和评价标准, 内容涵盖通用要求及电气性能、力学、可靠性、安全和智能性评价, 但缺乏系统性统计和分析, 不利于研发或从业者系统全面地了解已发布或起草的标准, 进而影响标准的推广与修订。研究从标准发布机构和内容范围 2 个维度对现有电子纺织品标准进行梳理, 并统计其测试范围。分析发现, 现有标准在电子纺织品的可靠性、舒适性等方面仍有欠缺。最后, 就电子纺织品标准起草和配套测试仪器研发, 提出建议。

关键词: 电子纺织品; 导电织物; 可靠性; 测试标准

中图分类号: TS 106

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2025)10-0008-12

Development progress of electronic textile standards

Yin Yumin¹, Gan Yiming², Zhang Shihan¹, Zhao Jiawen¹, Meng Fenyue³, Hu Jiyong^{1,4}

1. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Guangdong Polytechnic, Foshan 528041, Guangdong, China;

3. School of Fashion & Art Design, Jiaxing Vocational & Technical College, Jiaxing 314036, Zhejiang, China;

4. Anhui HengYi Smart Technology Co., Ltd., Jiesshou 236500, Anhui, China

Abstract: Electronic textile standards are the prerequisite and basis for promoting its commercialization and regulating its production and inspection. Social organizations such as associations/societies around the world have begun to establish terminology specifications and evaluation standards for electronic textiles, involving general requirements and evaluation of electrical properties, mechanics, reliability, safety and intelligence, but on the lack of systematic statistics and analysis is not conducive to the research and development or practitioners to have a systematic and comprehensive understanding of the published or drafted standards, which in turn affects the promotion and revision of the standards. The existing electronic textiles standards are sorted out from the dimensions of standard issuing organization and content scope, and count their testing scope. The results indicated that the electronic textiles standards still had shortcomings in the reliability and comfort of electronic textiles. And finally, suggestions were proposed for the drafting

基金项目: 安徽省制造业重点领域技术攻关项目(JB22053)

收稿日期: 2025-02-25

作者简介: 殷瑜敏, 女, 2001 年生, 在读硕士研究生, 研究方向为智能纺织品

通信作者: 甘以明, 讲师, ganyiming@gdpt.edu.cn

of electronic textile standards and development of supporting test instruments.

Keywords: electronic textile; conductive fabric; reliability; test standard

通常将微电子技术和信息技术与传统纺织品结合制成的产品,称为电子纺织品^[1-2]。随着电子信息技术和纺织技术的不断融合发展,电子纺织品在国防军事、医疗保健、体育运动等多领域得到了广泛的应用^[3-5],预计到 2028 年,其全球市场规模将达到 150 亿美元^[6]。

目前,电子纺织品标准的制定尚处于初始阶段,其主要原因之一是难以实现标准的统一化。尽管目前已有相关的综述文献对电子纺织品标准进行整理,但这些文献着重于单一类型电子纺织品的耐久性分析,如 Corchia 等^[7]总结了 3 种不同可穿戴天线的洗涤结果;Rotzler 等^[8]分析了当前电子纺织品洗涤测试的现状,包括使用的标准、测试方法等。张君秋^[9]介绍了智能服装的国内外标准现状,并剖析了标准制定中存在的问题;朱国庆等^[10]分析了国内外智能服装标准化的现状,但未深入探讨标准的不足之处,且部分列出的标准已更新;黄冠^[11]重点聚焦 IEC/TC 124 组织,系统总结了国内外可穿戴电子设备和标准化现状。程光伟等^[12]重点总结了智能纺织品市场化的挑战及国外智能纺织品标准化的进展,但未对电子纺织品的标准进行系统分类;余弘等^[1]介绍了国内外电子纺织品标准化的进展,阐述了电子纺织品标准化工作中应重点关注功能可靠性、安全性和可穿戴性 3 大关键性能指标。标准的统一不仅涉及织造技术和材料的选择,还与产品的安全性和可靠性等多个方面密切相关。电子纺织品的质量和标准问题已成为消费者的重大顾虑,缺乏标准化不仅无法界定电子纺织品的使用寿命,使消费者对其可持续性产生怀疑,也无法明确电子纺织品的安全性和耐久性。此外,行业缺乏统一的生产制造规则和要求,故无法提供可以验证产品质量和可靠性的声明。因此,电子纺织品标准的统一和完整性正是电子纺织品产业化发展亟需解决的问题。最后,由于标准在全球范围内被广泛采用,并在众多市场中得到应用,它们不仅促进了贸易,提高了透明度,还有助于消除贸易壁垒^[13]。因此,对现有的电子纺织品的标准进行对比与分析,具有重要的理论指导和实践应用价值。

本文系统梳理了已发布及正在起草的电子纺织品标准,并对其测试方法和要求展开分析,通过对标准的整理总结,旨在找出目前电子纺织品标准体系中的空白区域。同时,本文也致力于推动电子纺织品标准的持续完善,实现电子纺织品产业的稳定与规范化发展,从而推动产品的生产技术进步和商业化进程。

1 制定电子纺织品标准的相关组织

目前,全球标准组织主要有 6 个,分别为:IPC D-70(全球电子协会电子纺织品委员会)、ISO/TC 38(国际标准化组织纺织品技术委员会)、IEC/TC 124(国际电工委员会可穿戴电子设备和技术委员会)、ASTM D13. 50(美国材料与试验协会智能纺织品分委会)、AATCC RA111(美国纺织化学家和着色师协会电子集成纺织品技术委员会)和 STA(智能纺织联盟)。其他的如国家标准化组织有 CEN(欧洲标准化委员会)、DIN(德国标准化学会)、IEEE(美国电气和电子工程师协会)等。2019 年 3 月,SAC/TC 209(全国纺织品标准化技术委员会)成立智能纺织品工作组;2019 年 6 月,SAC/TC 219(全国服装标准化技术委员会)成立智能服装工作组。各代表组织所属行业与涉及的标准范围列于表 1。

由于不同地区背景和服务市场存在差异,对于进出口的电子纺织品监管标准也呈现多样化。例如,欧盟市场常采用 IEC 和 ISO 标准作为依据,偏重环境友好性和可持续性;美国市场更偏向使用 ASTM 和 AATCC 标准,多强调产品的可靠性;亚洲国家有时参考国际标准,有时参考本地标准,如中国产品多使用国家标准和行业标准进行监管,日本市场常采用 JIS(日本工业标准)中的法规。以上差异导致不同标准在适用范围、测试细节和评价方式上存在一定差异。

2 电子纺织品标准分析

2.1 标准统计

近年,国外各相关组织已成立专门小组致力于

表 1 标准组织及其所属行业,涉及的标准范围

Tab. 1 Standard organization and its affiliated industry, as well as standard scope involved

组织名称	所属行业	标准范围
IPC D-70	电子行业	全球电子协会(IPC)涉及电子行业的各个方面,包括设计、印制板制造、电子组装、测试和先进封装。IPC D-70 电子纺织品委员会聚焦电子纺织品的可靠性相关标准制定。另外,IPC D-60 和 D-70 下属的 IPC D-65、IPC D-72 等小组也涉及电子纺织品标准的制定
IEC/TC 124	电子行业	国际电工委员会(IEC)组织主要围绕电气和电子技术的设计、制造、测试和认证。IEC/TC 124 于 2017 年设立,主要负责可穿戴电子器件及相关技术的标准化工作中安全性、舒适性标准的制定
ISO/TC 38/WG 32	纺织行业	重点聚焦电子纺织品的定义、分类、测试标准等的制定
ASTM D13. 50	纺织行业	成立于 1914 年,下设 3 个专责小组,分别负责术语、市场调查和信息安全
AATCC RA111	纺织行业	下设 2 个工作小组,负责电子纺织品的洗涤测试和弹性测试标准的制定
STA	纺织行业	STA 没有定义技术规范或要求,致力于电子纺织品的行业标准化和柔性电子纺织品的可持续性开发
CEN/TC 248/WG 31	纺织行业	CEN 纺织品技术委员会智能纺织品小组(CEN/TC 248/WG 31)主要负责电子纺织品标准化和测试等

电子纺织品和可穿戴技术标准文件的制定^[9]。目前陆续发布的标准涵盖以下基本领域:术语、测试规定、协议规定、技术报告、系统可靠性^[11]及安全性。截至 2024 年底,电子纺织品相关标准具体数量如图 1 所示。

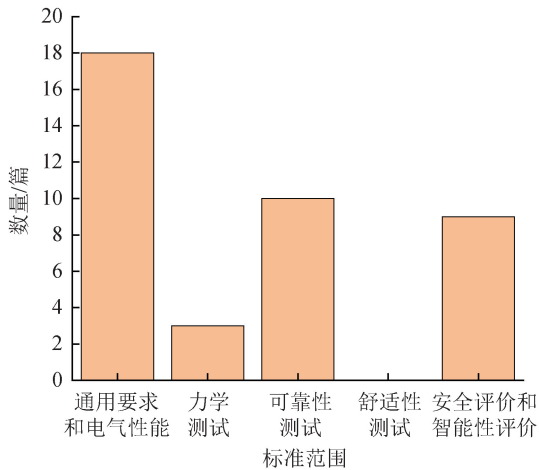


图 1 已发布电子纺织品标准数量统计

Fig. 1 Statistics on the number of published electronic textiles standards

纺织和电子属于不同的技术领域,所涉及的专业知识体系存在显著差异。因此,电子纺织品标准的制定必须将两者进行结合,使术语、判定标准等通用。IPC 委员会给出了电子纺织品的 7 个关键评价指标:通用要求;电气性能(即电阻或阻抗以及连接问题);机械应力 I(即磨损/耐久性拉伸/剪切)和机械应力 II(即动态拉伸/弯曲/扭曲);暴露环境 I(即体表,防汗/抗菌)和暴露环境

II(即体外,防水/防紫外线/防高温);清洁(即可洗性);耐磨性;舒适性。此外,刘晖等^[14]提出电子纺织品标准还应当涵盖安全性和智能性。另外,电子纺织品必须具备体积小、柔软质轻、可折叠等特点,以满足基本服用性能^[15]。然而,目前尚未制定相关的评价标准。

2.1.1 电子纺织品的通用要求和电气性能标准

对于通用要求和电气性能,发布的标准详细规定了相应术语的定义与测试程序,具体内容详见表 2。依据表 2 相关标准的术语,电子纺织品按照集成水平被分为 3 类:(1)外装技术(added-on technology),主要通过缝纫、刺绣等工艺将电子元件固定于织物表面,可拆卸且拆卸后不破坏织物。(2)内嵌技术(built-in technology),通过织造、涂层或印刷等方法将导电纱线或柔性电子材料集成到纺织品上,不可拆卸,拆卸时可能破坏纺织品。(3)全集成技术(fully integrated technology),将电子技术和纺织技术结合,制备织物电子器件及集成纺织品^[12-13],电子器件是织物或纺织品的一部分。以上 3 类技术可同时存在于一件电子纺织品中,但现阶段多数电子纺织品未达到完全融合的程度,多为内嵌技术,且多置于弹性纺织品基底表面^[16-17]。由于内嵌技术的不可拆卸性,其可靠性评判测试更严苛。

表 3 列出了截至投稿时由相关组织正在编制的电子纺织品标准,涉及电子纺织品的纱线分类定义及测试方法,质量及电气性能的测试规定,以及设计制造规定。

表 2 已发布的电子纺织品的通用要求和电气性能标准

Tab. 2 General requirements and electrical performance of published standards for electronic textiles			
组织名称	标准名称及发布日期	标准范围	标准主要内容
IPC D-70	IPC-8952, <i>Design Standard for Printed Electronics on Coated or Treated Textiles and E-Textiles</i> (2022)	设计规定	本标准适用于印刷电子纺织品,对其应用设计及其在涂层或处理过的纺织基材上的组件安装及互连形式有具体规定,建立特定的设计细节、材料、测试要求、力学性能、物理性能、热管理、互连和质量保证
IPC D-70	IPC-8971, <i>Requirements for Electrical Testing of Printed Electronics on Textiles</i> (2022)	测试规定	本标准提供了印刷电子纺织品电气测试所需的测试设备、测试参数、测试夹具等参考
IPC D-70	IPC-WP-025, <i>IPC White Paper on A Framework for the Engineering and Design of E-Textiles</i> (2019)	术语	本标准陈述了集成电子纺织品的基准测试方法,对当前市场部门如何通过使用基于纺织品的电气元件实现集成功能进行了分类,提供了对这一新兴领域的电子纺织工艺技术、要求和资源的基本了解
IEC/TC 124	IEC 63203-101-1: 2021, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies Part 101-1: Terminology</i>	术语	本标准提供了与 IEC 63203 系列可穿戴电子设备和相关文献中的常用术语,包括可穿戴电子设备和近身可穿戴电子产品、身体可穿戴电子产品、身体内可穿戴电子产品和电子纺织品
IEC/TC 124	IEC 63203-201-1: 2022, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies - Part 201-1: Electronic Textile - Measurement Methods for Basic Properties of Conductive Yarns</i>	测试规定	本标准规定了测量导电纱线性能的规定和试验方法。所指导电纱具有一定的导电性,可用于传输电信号、供电和电磁屏蔽,不包括用于防静电和加热用途的高电阻导电纱
IEC/TC 124	IEC 63203-201-2: 2022, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies - Part 201-2: Electronic Textile - Measurement Methods for Basic Properties of Conductive Fabrics and Insulation Materials</i>	测试规定	本标准规定了用于电子纺织品的导电织物和绝缘材料,及其性能测量方法
IEC/TC 124	IEC TR 63203-250-1: 2021, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies - Part 250-1: Electronic Textile - Snap Fastener Connectors between E-Textiles and Detachable Electronic Devices</i>	技术报告	本标准回顾了市场上可用的导电卡扣紧固件作为电子纺织品电连接器的使用案例
ASTM	ASTM D8248-20, <i>Standard Terminology for Smart Textiles</i> (2020)	术语	本标准规定了智能纺织品、技术纺织品、电子纺织品和可穿戴电子产品(包括纤维、纱线和最终产品)的相关术语及分类
ISO/TC 38	ISO/TR 23383:2020, <i>Textiles and Textile Products - Smart (Intelligent) Textiles - Definitions, Categorisation, Applications and Standardisation Needs</i>	术语	本标准规定了智能纺织品和纺织产品领域的定义与分类
ISO/TC 38	ISO 24584: 2022, <i>Textiles - Smart Textiles - Test Method for Sheet Resistance of Conductive Textiles using Non-contact Type</i>	测试规定	本标准描述了使用涡流技术测定用于纺织品的导电纺织结构或导电结构片材电阻的测量方法,适用于片状(包括机织物、针织物、非织造布、涂层织物)导电织物
ASTM D13. 50	ASTM D8248-20, <i>Standard Terminology for Smart Textiles</i> (2020)	术语	本标准规定了与智能纺织品(如电气纺织品和可穿戴电子产品)相关的术语和定义,包括构成它们的纤维、纱线和织物,以及最终产品
CEN/TC 248	CEN/TR 16298:2011, <i>Textiles and Textile Products - Smart Textiles - Definitions, Categorisation, Applications and Standardization Needs</i>	术语	本标准对常见的智能纺织材料进行了定义及分类,该组织于 2020 年 12 月采用了 ISO/TR 23383:2020 来替代此标准
CEN/TC 248	EN 16812: 2016, <i>Textiles and Textile Products - Electrically Conductive Textiles - Determination of the Linear Electrical Resistance of Conductive Tracks</i>	测试规定	本标准提供了一种纺织品中导线的线性电阻的测试方法

续表

组织名称	标准名称及发布日期	标准范围	标准主要内容
CEN/TC 248	CEN ISO/TR 23383: 2020, <i>Textiles and Textile Products – Smart (Intelligent) Textiles – Definitions, Categorisation, Applications and Standardization Needs</i>	术语	本标准对智能纺织品进行了定义和分类,且简要描述了其研究进展与使用现状,并提出了标准化需求
CEN/TC 248	CEN/TR 17945: 2023, <i>Textiles and Textile Products – Textiles with Integrated Electronics and ICT – Definitions, Categorisation, Applications and Standardisation Needs</i>	术语	本标准对电子纺织品及电子纺织品系统领域进行了定义及分类,并提出了标准化需求,是对 CEN ISO/TR 23383 的补充
AATCC RA111	AATCC EP13 (2021), <i>Evaluation Procedure for Electrical Resistance of Electronically Integrated Textiles</i>	测试规定	本标准评定程序用于确定电子纺织品的电阻,包括在自然状态下和在拉伸或洗涤等处理后的电阻,不适用于纱线或纤维的评定
全国纺织品标准化技术委员会 TC 209	ISO/TR23383:2020《纺织品 智能纺织品 术语和分类》	术语	本标准规定了我国智能纺织品及其相关产品的术语和定义
全国服装标准化技术委员会 TC 219	GB/T 43830—2024《智能服装 术语和定义》	术语	本标准对智能服装进行了定义,适用于智能服装的设计生产、织造技术、产品贸易及其相关的领域

表 3 未发布的电子纺织品的通用要求和电气性能标准

Tab. 3 General requirements and electrical performance of unpublished standards for electronic textiles

组织名称	标准名称	标准范围	标准主要内容
IPC/JPCA	IPC/JPCA-8911, <i>Requirements for Conductive Yarns for E-Textiles Applications</i>	术语、测试规定	本标准确定了类别并建立了电子纺织品中使用的导电纱线的分类系统、资格和质量一致性要求,以及建议的测试方法。本标准涵盖的导电纱线包括与纤维和纱线系统结合使用的导电纤维和导电丝
IPC	IPC-8921A, <i>Requirements for Woven, Knitted and Braided Electronic Textiles (E-Textiles) Integrated with Conductive Yarns and/or Wires</i>	性能测试规定	本标准建立了影响与导电纱线和/或电线集成的机织、针织和编织电子纺织品 (e-textiles) 的电气/电子性能的分类系统,以及资格和质量一致性要求,不适用于非电子集成的纺织品或非导电纤维或纱线
IPC	IPC-8961, <i>Guidelines on E-Textiles Wearables</i>	设计标准	本标准描述电子纺织品可穿戴设备的必要部件及其材料、设计和制造过程,为 IPC-8981 用户的适当补充
IPC	IPC-8953, <i>Design Standard for Embroidered E-Textiles</i>	设计标准	本标准规定了刺绣电子纺织品设计的具体要求,涵盖导电材料(如纤维、纱线、金属丝)在裸纺织品或集成电子纺织品(如机织、针织、印刷电子纺织品)上的刺绣,以创造单独的刺绣功能,与集成电子纺织品的功能组件互连,和/或形成设备(如印刷板)与纺织品或电子纺织品的互连/连接
IPC	IPC-8922, <i>Qualification and Performance Specification for Printed Electronics or Coated or Treated Textiles and E-Textiles</i>	设计规定	本标准规定了印刷电子产品或涂层或处理纺织品和电子纺织品的鉴定和性能规范,将与 IPC-8952 对应
IEC/TC 124	IEC 63203-402-X, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies – Part 402-X: Performance of Stress Measurements in Wearable</i>	性能要求	本标准定义了使用心率变异性、皮肤电导率和相关测量进行急性压力管理的可穿戴设备的性能要求
全国纺织品标准化技术委员会 TC 209	《纺织品 智能纺织品 术语和分类》	术语	本标准内容参考了国际标准 ISO/TR 23383:2020 《纺织品和纺织产品 智能纺织品 定义、分类、应用和标准化需求》
全国纺织品标准化技术委员会 TC 209	《智能纺织产品通用技术要求》	术语、测试规定	本标准规定了智能纺织产品的术语和定义、设计要求、检验方法、产品使用说明和包装等,适用于各类智能纺织产品

续表

组织名称	标准名称	标准范围	标准主要内容
全国纺织品标准化技术委员会 TC 219	《智能服装通用技术规范》	术语、测试规定	本标准规定了智能服装通用规范的术语和定义、设计要求、检验方法、取样规则,以及标志、包装、运输和贮存,明确了智能服装通用技术的可穿戴性、安全性和智能性 3 大方面的要求

各行业组织正在积极推进电子纺织品标准的研发与制定。其中,智能纺织联盟(STA)致力于构建智能纺织品的生态系统,以支持行业标准的制定及供应链的优化,从而推动行业标准化进程。

2.1.2 电子纺织品的力学测试标准

针对力学性能评估,传统织物的力学测试主要

包括:拉伸试验、撕裂测试、接缝强度试验、破裂强度试验、磨损测试、滑动阻力测试、压缩试验、抗起球测试等^[18]。表 4 所示标准主要涉及电子纺织品的柔性和可拉伸性的测试规定。由于穿戴在人体上的电子纺织传感器要经受不同方向的拉伸和弯曲,力学测试还需要包括导电涂层或本体导电纤维的拉伸、撕裂强度、弯曲和耐摩擦等性能^[19]。

表 4 已发布的电子纺织品的力学测试标准

Tab. 4 Published standards for mechanical test of electronic textiles

组织名称	标准名称	标准范围	标准主要内容
IPC D-60	IPC-9204, <i>Guideline on Flexibility and Stretchability Testing for Printed Electronics</i>	测试规定	本标准旨在介绍用于评估印刷电子产品柔性和可拉伸性的各种测试方法。这些测试方法可分为 5 大类:拉伸性测试、弯曲测试、扭转测试、滚动测试和皱褶测试。这些测试可以模拟印刷电子产品在实际应用中可能遇到的各种应力条件
IEC/TC 124	IEC 63203-402-1:2022, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies - Part 402-1: Performance Measurement of Fitness Wearables - Test Methods of Glove - type Motion Sensors for Measuring Finger Movements</i>	测试规定	本标准对可穿戴的手套传感器进行手指动作的检测方法进行了研究,采用了与人体姿态、人体弯曲动力学有关的角度参数
IEC/TC 124	IEC 63203-20X-X, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies-Part 20X-X: Standard Test Method for Measuring Resistance-based Textile Tensile Strain Sensors (RTSS) in Dry and Wetted Conditions</i>	测试规定	本标准规定了在干燥和潮湿条件下测量基于电阻的纺织品拉伸应变传感器(RTSS)的标准测试方法

除表 4 列出的已发布标准外,IEC TC124 组正在制定电阻测试方面的规定,即 IEC 63203-201-4 ED1 *Wearable Electronic Devices and Technologies-Part 201-4: Electronic Textile-Test Method for Determining Sheet Resistance of Conductive Fabrics after Abrasion*。该标准规定了一种测试程序,用于使用 Martindale 耐磨测试仪器进行磨损处理后导电织物的薄层电阻测量。本文件适用于机织/针织/非织造/涂层导电织物和使用导电纱线的刺绣织物。

在对电子织物进行力学性能测试时,必须同时考虑其电学和力学两方面的特性。传统织物的力学测试仅限于单个物理量和性能的评估,例如,多使用 Martindale 耐磨测试仪器进行耐磨损测试,如图 2a)

所示,由于该测试方式无法实时监测,故而无法完全用于确定电子纺织品的电气性能和力学性能之间的关系,因此,需要完善现有标准或制定新标准进行评价。Schwarz 等^[20]对导电纱进行拉伸循环测试,并对电流和电压进行实时监测,如图 2b)所示。Zaman 等^[21]采用双圆柱气动气缸对柔性印刷电路板(FPCB)织物进行弯曲试验,织物一侧连接伸缩长杆,另一侧悬空并吊有重物,如图 2c)所示。王丽等^[22]将导电织物进行拉伸、弯曲,测量织物的表面电阻,并根据表面银层的脱落情况来判断织物变形对导电性的影响。Ma 等^[23]研究了包缠导电纱的 2 个断裂过程,即包缠纱断裂和内芯断裂,并以包缠纱的断裂特性来评估包缠导电纱的力学性能。

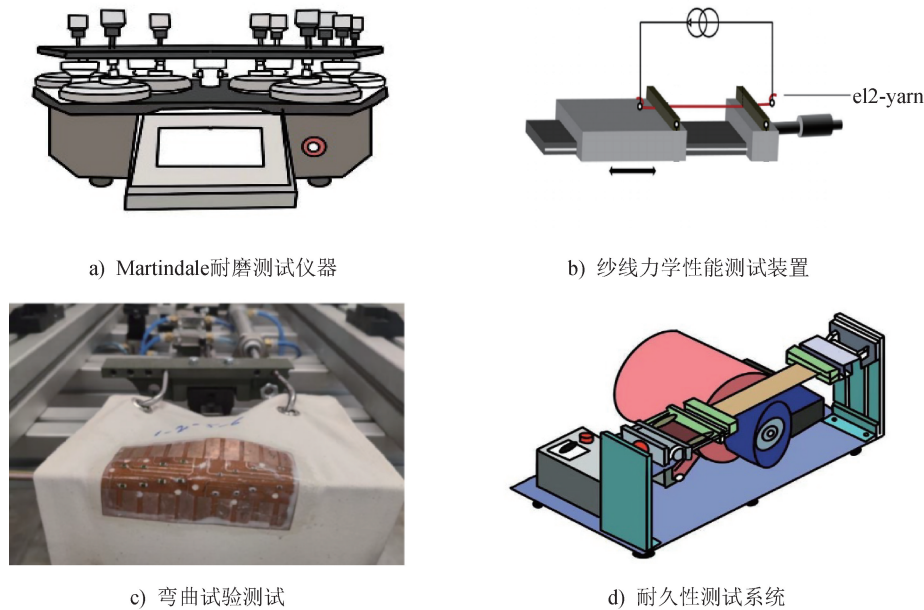


图2 电子纺织品常见测试方法
Fig. 2 Common test methods for electronic textiles

2.1.3 电子纺织品的可靠性测试标准

电子纺织品的可靠性主要指电子织物的耐水洗涤性能和耐久性,其决定了产品的使用周期,同时也是保证电子纺织品可持续运行的基础,其具体测试标准详见表5和表6。表5所列的标准主要涉及电子纺织品的可靠性测试规定,包括洗涤和环境微气候测试,但这些标准仍不完善。例如,在可靠性测试中,IPC-WP-024标准使用导电镀银聚酰胺纱为测试主体,但不能覆盖其他导电纱线或织物,难以代表其他电子纺织品;IEC 63203-201-3:2021虽然规定了耐洗涤的测试方法,但并未明确指出对于多层织物结构和封装层的存在与否等关键影响因素的处理方法。目前,大多数文献采用ISO 6330 *Textiles - Domestic Washing and Drying Procedures for Textile Testing* (《纺织品 纺织品测试的家庭洗涤和干燥程序》)为测试标准,但该标准不完全适用于电子纺织品,标准未规定洗涤循环次数和如何评价被测样品是否可洗涤的方法。此外,由于大多数研究测试采用不同的洗涤测试方法,因此导致洗涤结果不具备可比性。如,洗衣机使用程序不同,内筒转速和洗涤时间存在差异,则对织物的机械作用不同,最终导致电子织物磨损情况不一致。另外,目前尚无文献证明其洗涤程序是否对产品起到清洁作用。因此,耐

水洗性仍是电子纺织品的一大挑战。邹颖等^[24]对不同的洗涤标准进行了比较,并列出了影响电子纺织品耐洗性的原因,以及洗涤过程中的失效模式。De等^[18]提供了创新的试验台设计和试验程序,如图2d),该测试系统可以在完全可控的条件下验证智能织物的性能和可靠性。该测试系统配备了电子检测系统,通过实时检测电阻的变化,探究电子元器件失效原因,并且可以进行加速测试,通过预测模型估计织物的使用寿命。

除了表5列出的已发布标准外,IPC和ASTM D13.50组正在完善电子纺织品可靠性方面的规定,包括机械及环境、洗涤对电子纺织品的影响,具体测试标准详见表6。

此外,从已发布的标准来看,电子纺织品的可靠性测试标准较少,且缺少评价方法,测试结果因测试标准不同存在较大差异。目前,文献对于电子纺织品可靠性的评价测试类型主要包括力学性能测试和洗涤测试。例如,Azani等^[25]认为电子纺织品的耐久性需要从机械应力下的稳定性(如柔韧性和延展性)和耐洗性2个方面来评价。力学性能方面多采用拉伸循环测试和弯曲测试,洗涤方面大多数沿用适用于传统纺织品的ISO 6330洗涤标准,经过多次洗涤和磨损循环后记录电阻的变化以及是否失效来

表 5 已发布的电子纺织品的可靠性测试标准

Tab. 5 Published standards for reliability test of electronic textiles

组织名称	标准名称及发布日期	标准范围	标准主要内容
IPC D-70	IPC-8921, <i>Requirements for Woven, Knitted and Braided E-Textiles Integrated with Conductive Yarns and/or Wires</i> (2019)	测试规定	本标准建立了导电纤维、导电纱线和/或导线集成的机织和针织电子纺织品 (e-textiles) 的分类体系以及鉴定和质量一致性要求,提供和定义与导电纤维、导电纱线和/或导线集成的机织和针织电子纺织品的关键特性和耐久性的测试方法和指南
IPC D-70	IPC-WP-024, <i>IPC, White Paper on Reliability and Washability of Smart Textile Structures-Readiness for the Market</i> (2018)	可靠性: 耐洗涤	本标准讨论了与智能纺织品(电子纺织品结构)在多个洗涤周期后的可靠性相关的问题。重点介绍了导电镀银聚酰胺纱的电子纺织品,提供了电子纺织品在市售洗衣机中多次洗涤并使用普通洗衣粉进行多次洗涤后的实验室测试的初步可靠性结果
IEC/TC 124	IEC 63203-201-3:2021, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies - Part 201-3: Electronic Textile - Determination of Electrical Resistance of Conductive Textiles under Simulated Microclimate</i>	电阻测试 规定	本标准规定了测定服装内导电织物在模拟微气候条件下电阻的试验方法。小气候是指皮肤和衣服之间的小空气层的气候,它必须有特定的温度和湿度。本测试方法可适用于导电织物,包括用于服装的多层组件
IEC/TC 124	IEC 63203-204-1:2021, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies - Part 204-1: Electronic Textile - Test Method for Assessing Washing Durability of Leisurewear and Sportswear E-Textile Systems</i>	可靠性: 耐洗涤	本标准规定了休闲服和运动服电子纺织品系统的家用洗涤耐久性试验方法。本标准所涉及的电子纺织品,特指那些集成有导电组件与传感器,并以此收集用户数据的产品
IEC/TC 124	IEC 63203-204-1: 2023 <i>RLV, Wearable Electronic Devices and Technologies - Part 204-1: Electronic Textile - Test Method for Assessing Washing Durability of E-Textile Products</i>	可靠性: 耐洗涤	本标准是 IEC 63203-204-1:2021 的修订版本,删除了部分内容,添加了洗涤程序等,规定了电子纺织品的家用耐洗性测试方法
IEC/TC 124	IEC 63203-402-2:2024, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies - Part 402-2: Performance Measurement of Fitness Wearables-Step Counting</i>	测试 规定、 可靠性	本标准描述了测量和评估任何可穿戴设备(即活动和健身追踪器,智能手环,智能鞋和智能鞋垫)的步数功能的性能,可靠性和准确性的测试方法
IEC/TC 124	IEC 63203-402-3:2024, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies-Part 402 - 3: Performance Measurement of Fitness Wearables-Test Methods for the Determination of the Accuracy of Heart Rate</i>	术语、 测试规定	本标准规定了术语、测量协议和测试,以评估使用光电容积脉搏波(PPG)传感器测量心率的可穿戴设备的准确性
ISO/TC 38	ISO/DIS 17971, <i>Textiles-Smart Textiles-Test Method for Fabric Interface with Capacitive Touchscreens</i> (2024)	测试规定	本标准规定了确定纺织品屏幕触控性能的测试方法。该方法适用于可以处理屏幕的产品的所有类型的织物
CEN/TC 248	EN 16806-1: 2016, <i>Textiles and Textile Products - Textiles Containing Phase Change Materials (PCM) -Part 1: Determination of the Heat Storage and Release Capacity</i>	性能测试 规定	本标准规定了纺织品中相变材料的储热和放热性能的检测
AATCC RA111	AATCC 210 (2020), <i>Test Method for Electrical Resistance before and after Various Exposure Conditions</i>	电阻测试 规定	本标准用于确定电子纺织品在暴露于洗涤、干洗、水、汗水、酸和碱、紫外线(UV)辐射和/或微生物之前和之后的电阻。该测试方法适用于电子纺织物或带有(机织、针织、印花、刺绣等)导电路径/痕迹的最终产品。本标准不用于评估纱线或织物。2019 版标准已废除,于 2020 年修订

确定产品的使用周期。同时,由于洗涤老化包含机械作用、化学作用、温度等多因素共同影响,因此相

关组织选择洗涤测试作为评估电子纺织品可靠性的主要标准与方法。例如,Liu 等^[26]使用 AATCC M6

表 6 未发布的电子纺织品的可靠性测试标准

Tab. 6 Unpublished standards for reliability test of electronic textiles

组织名称	标准名称	标准范围	标准主要内容
IPC	IPC-8981, <i>Quality and Reliability of E-Textiles Wearables</i>	可靠性	该标准将为电子纺织品可穿戴产品提供所需的测试和可靠性预期,力学 15 项机械和环境暴露特性(包括可洗性)测试要求
ASTM D13. 50	ASTM WK61480, <i>Standard Test Method for Performance Evaluation of Smart Textiles</i>	可靠性	与纺织电极洗涤后耐久性有关的测试草案

洗涤标准,测试了 4 种金属 Ag、Cu、Ni、NiCo 导电涂层的可洗性;Ye 等^[27]使用 AATCC 135-2017 标准进行洗涤,其产品 10 个洗涤-干燥循环后仍保持稳定的传感性能。然而,多数文献评价耐洗性时仅从可洗涤性方面进行探讨,比较同类产品的可洗涤循环次数,并未注明洗涤的具体参数,也未确定如何根据产品的洗涤结果来评价其可靠性。

综合来说,当前对电子纺织品的可靠性研究仅从力学性能和洗涤方面出发,研究因素较为单一,可从温度、湿度等角度进一步探究其他环境因素对电子纺织品耐久性的影响。如,标准 IEC 63203-406-1:2021 中提及了穿戴电子设备在运行过程中发热引起设备温度升高这一现象。Alshabouna 等^[28]为了研究户外气候环境对产品的影响,以 9 d 为周期,在不同环境条件下进行电气稳定性表征,结果表明:温度升高对其产品的电学特性影响最大,电阻随温度升高而增大,而暴露于太阳辐射、模拟雨水或较高的相对湿度环境中对电子纺织品的电化学特性影响不大,但电阻变化的具体原因并未完全解释清楚。

RA111 委员会目前正在对另外 2 个标准进行投票。一个是电子纺织品的洗涤测试方法,另一个是将电子纺织品暴露在各种条件下的实验室程序。后者借鉴了现有的针对汗水、紫外线辐射等因素的测试方法,还加入了关于如何利用电子纺织品样品来测试其电阻变化的具体说明。

2.1.4 电子纺织品的舒适性测试标准

在电子纺织品的舒适性评价中,嵌入电子纺织品内部的电子元件(无论是嵌入纱线/织物的,还是采用导电纤维编织而成的柔性电子产品)是异物感的主要来源。当这些电子元件被安装在胸部、腰部、手腕和脚踝等关节部位时,会尤为明显,还会影响智能设备监测的精度,甚至导致智能设备出现故障。因此,如何满足人们的穿着舒适性,已成为电子纺织

服装需重点解决的问题^[4]。目前,文献对于电子纺织品舒适性的评价测试方法主要包括暖体假人的热湿舒适性测试和透气性测试等^[29]。

2.1.5 电子纺织品的安全性评价和智能性评价标准

针对电子纺织品的安全问题,主要包括材料选择、电磁辐射、漏电起火以及信息与资料的安全存储等。因此,除了在传统纺织品评价(如色牢度、甲醛含量、pH 值、偶氮染料、重金属含量、阻燃性、化学物质检测等评价)的基础上,还需针对电子纺织品的安全性制定对应的标准。目前,对于电子纺织品的安全性能(如电池安全、信息安全、电热安全和电磁安全),已有相关的测试标准。对于电子纺织品的智能性,并没有相应的评价标准,常见的相关测试有信号的可靠性^[30]、智能温控性能评价^[31],具体测试标准详见表 7 和表 8。表 7 所列的标准主要涉及电子纺织品的安全评价测试规定、安全协议规定、电学安全性和电磁安全性及智能性评价。

除了表 7 列出的已发布标准外,我国相关组织正在完善电子纺织品在安全和智能性评价方面的规定,如电子纺织品的信息安全、电热安全、智能性评价等,具体测试标准详见表 8。

2.2 电子纺织品标准发展面临的机遇与挑战

目前已有电子纺织品标准涉及多个方面,具体分类见图 3。技术指南 CEN/TR 17945:2023 中指出,目前纺织和电子领域的现有标准不足以描述电子纺织品。如电子产品未考虑产品的弹性和可拉伸性、产品的洗涤、产品的尺寸与质量、舒适性,且纺织品与电子元件结合时未考虑到电子元器件的连接、电线的标准化尺寸、印刷电路板设计、零件的自动化生产工艺等细节。

我国相关技术组已着手构建智能纺织品的标准化体系。从国内相关组织发布的标准及其范围可以看出,我国电子纺织品的标准开发相对滞后于国际

表 7 已发布的电子纺织品的安全评价和智能性评价标准

Tab. 7 Published standards for safety evaluation and intelligence evaluation of electronic textiles

组织名称	标准名称及发布日期	标准范围	标准主要内容
IEC/TC 124	IEC 63203-406-1: 2021, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies – Part 406-1: Test Method for Measuring Surface Temperature of Wrist-Worn Wearable Electronic Devices While in Contact with Human Skin</i>	术语、测试规定	本标准规定了确定防止皮肤烧伤的腕戴式可穿戴电子设备表面温度的标准测量条件和方法的术语、定义、符号、配置和试验
IEC/TC 124	IEC 63203-801-1: 2022, <i>Wearable Electronic Devices and Technologies – Part 801-1: Smart Body Area Network (SmartBAN) – Enhanced Ultra-Low Power Physical Layer</i>	安全协议规定	本标准规定了 SmartBAN 的超低功耗物理层 (PHY)
IEC/TC 124	IEC 63203-801-2: 2022; <i>Wearable Electronic Devices and Technologies – Part 801-2: Smart Body Area Network (SmartBAN) – Low Complexity Medium Access Control (MAC) for SmartBAN</i>	安全协议规定	本标准规定了 SmartBAN 的低复杂度介质访问控制 (MAC)
CEN/TC 248	CEN/TR 16422: 2012, <i>Technical Report on the Classification of Thermoregulatory Properties of Textiles</i>	测试规定	本标准概述了测量服装用纺织材料温度调节性能的测试方法, 提供了 3 个性能级别的体温调节特性分类。本标准不包括对个人防护装备 (PPE) 和标准已规定特定要求的服装或纺织品的体温调节特性的考虑, 以及相变材料 (PCM) 和类似的用于温度调节的智能材料
国家标准化管理委员会	GB 31241—2022《便携式电子产品用锂离子电池和电池组 安全技术规范》	电学安全性和电磁安全性	本标准可为可移动电源的强制性标准, 替代 GB 31241—2014
上海彩羊服饰有限公司	T/CNTAC 24—2018《电加热服装》	电热安全	本标准规定了企业生产智能温控服装的相关指标等
中国纺织工业联合会	T/CNTAC 71—2020《服装及配饰用电加热片》	电热安全	本标准规定了服装服饰用电加热片产品术语、要求、试验方法等
中国纺织工业联合会	T/CNTAC 42—2020《心电衣》	智能性评价	本标准适用于与心电记录系统配套使用的纺织服装
安踏(中国)有限公司	Q/ATZG 189—2019《服装功能性 智能透干》	智能性评价	本标准规定了智能透干功能的技术要求、试验方法、检验规则

表 8 未发布的电子纺织品的安全评价和智能性评价标准

Tab. 8 Unpublished standards for safety evaluation and intelligence evaluation of electronic textiles

组织名称	标准名称	标准范围	标准主要内容
全国服务标准化技术委员会	《产品和服务设计中的消费者隐私保护 第 1 部分: 高阶要求》和《产品和服务设计中的消费者隐私保护》 《便携式电子产品用锂离子电池和电池组安全要求 第 2 部分: 应用案例》	信息安全	本标准规定了电子纺织品标准体系中的信息安全性的要求和评价
中国纺织工业联合会 标准化技术委员会	《液冷服》	智能性	本标准规定了液冷服的技术规范与要求。该产品由服装与液冷循环低温系统集成, 旨在为使用者体表创建适宜的温度

水平,且国内多为行业标准,内容尚不完善。

3 结论

电子纺织品的标准化是实现智能服装规模化生

产和工业化发展的前提和基础,同时也为电子纺织品的设计、生产和检验提供了重要的参考^[9]。从目前的标准现状来看,尽管不同组织根据行业情况制定了相关的标准,但仍缺乏具有完整框架的评价系统,这致使在多产业多供应链的情况下,商业化生产

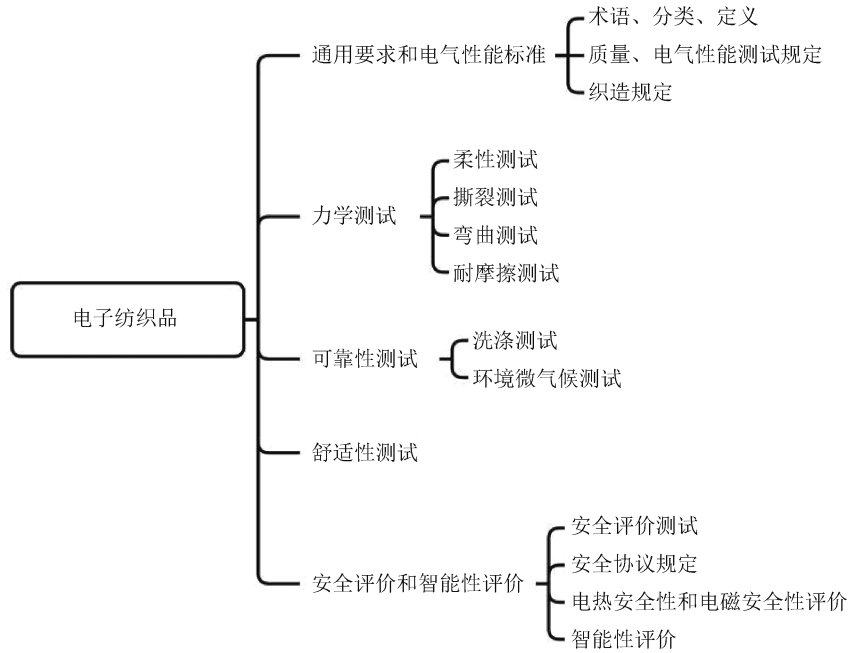


图3 已有电子纺织品标准分类

Fig. 3 Classification for published standards of electronic textiles

困难,许多产品无法进入市场。以力学性能测试为例,传统的力学测试如拉伸、弯曲和摩擦测试难以捕捉到电子纺织品的动态变化,建议在力学测试中引入实时性能监测装置,实现“力学+电学”双向同步评估。可靠性测试标准也应引入“可靠性等级”指标体系,以定量的指标反映产品的功能稳定性和耐久性。此外,其他测试标准也应明确列出适用于何种材料和结构测试的条款,提出更细化、具针对性的测试方法与评价标准,以提升标准的科学性和实用性。

与此同时,我国电子纺织品标准化水平与欧美等发达国家仍存在较大差距,这不仅不利于国产电子纺织品的研发和市场营销,也制约了我国智能纺织品行业的发展速度及其在国际市场的竞争力。因此,电子纺织品行业的相关标准还需要进一步健全,实现多学科、多领域、多方位的融合,从而推动智能服装的发展,实现产业化目标。因此,我国在后续制定电子纺织品标准时,应加强对不同国家或地区间标准适用性的对比分析,将国外某些机构或组织颁布的高权威、高公认度的标准纳入考量范围,以缩小国内外智能服装标准之间的差距。例如,在智能服装标准的制定过程中,可以参照 ISO、IEC 等国际化组织发布的智能服装标准,从而确保最终制定和发布的智能服装标准符合国际化标准,降低设计和生

产过程中的风险。

目前,电子纺织品标准体系的建设主要由行业组织和研究机构推动,缺乏面向生产企业和消费者的实用性指导建议,导致产品性能和质量评估缺乏统一依据,增加了企业开发成本与技术不确定性。对于企业而言,建议在生产过程中明确电子纺织品不同部件(如导电纱线、封装结构)在实际生产中的关键参数要求和检测建议,以提升标准的落地性。对于消费者而言,市场上产品种类繁多、质量参差不齐,若消费者缺乏对电子纺织品功能、耐久性及安全性的直观认知,则增加购买风险。因此,建议在标准推广过程中同步开展科普工作,可通过产品标签体系建立电子纺织品等级评定机制,包括可洗次数、安全风险等级、电气功能是否稳定等基本信息,引导消费者理性选购,提升市场透明度。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

[1] 余弘, 刘宇, 闫畅. 电子纺织品标准化现状与建议[J]. 纺织标准与质量, 2024(3): 13-16.

- [2] 白洁. 智能纺织品的分类及其应用[J]. 毛纺科技, 2019, 47(4): 79-83.
- [3] 熊莹, 陶肖明. 智能传感纺织品研究进展[J]. 针织工业, 2019(7): 8-12.
- [4] 王朝晖, 程宁波. 智能服装的应用现状及发展方向[J]. 服装学报, 2021, 6(5): 451-456.
- [5] 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, 50(3): 42-43.
- [6] YANG K, MCERLAIN-NAYLOR S A, ISAIA B, et al. E-textiles for sports and fitness sensing: current state, challenges, and future opportunities [J]. Sensors, 2024, 24(4): 1058.
- [7] CORCHIA L, MONTI G, TARRICONE L. Durability of wearable antennas based on nonwoven conductive fabrics; experimental study on resistance to washing and ironing [J]. International Journal of Antennas and Propagation, 2018, 2018(1): 2340293.
- [8] ROTZLER S, VON KRSHIWOBLOZKI M, SCHNEIDER-RAMELOW M. Washability of e-textiles; current testing practices and the need for standardization [J]. Textile Research Journal, 2021, 91 (19/20): 2401-2417.
- [9] 张君秋. 智能服装标准现状及展望[J]. 高科技纤维与应用, 2022, 47(5): 76-79.
- [10] 朱国庆, 周小进, 郭建峰. 智能服装标准化现状与标准体系的构建 [J]. 棉纺织技术, 2022, 50 (7): 74-78.
- [11] 黄冠. 可穿戴领域国内外标准化研究[J]. 中国标准化, 2022(11): 126-131.
- [12] 程光伟, 庞淑婷, 刘颖. 浅谈智能纺织品标准化进展 [J]. 中国质量与标准导报, 2021(2): 40-43.
- [13] RIJAVEC T. Standardisation of smart textiles [J]. Glasnik Hemičara, Tehnologa i Ekologa Republike Srpske, 2010(4): 35-38.
- [14] 刘晖, 陈国强, 吕凯敏. 智能纺织品分类与评价方法研究[J]. 针织工业, 2021(10): 63-67.
- [15] 梁然然, 葛传兵. 智能服装的研究现状及发展趋势 [J]. 天津纺织科技, 2023(3): 30-33.
- [16] GAO W, OTA H, KIRIYA D, et al. Flexible electronics toward wearable sensing [J]. Accounts of Chemical Research, 2019, 52(3): 523-533.
- [17] ZHOU Y L, CHENG W N, BAI Y Z, et al. Rise of flexible high-temperature electronics [J]. Rare Metals, 2023, 42(6): 1773-1777.
- [18] DE P G, MURA A. Accelerated lifetime tests on e-textiles; design and fabrication of multifunctional test bench [J]. Journal of Industrial Textiles, 2018, 47 (8): 1925-1943.
- [19] LE K, NARAYANA H, SERVATI A, et al. Electronic textiles for electrocardiogram monitoring; a review on the structure-property and performance evaluation from fiber to fabric [J]. Textile Research Journal, 2023, 93 (3/4): 878-910.
- [20] SCHWARZ A, KAZANI I, CUNY L, et al. Electro-conductive and elastic hybrid yarns – the effects of stretching, cyclic straining and washing on their electro-conductive properties [J]. Materials & Design, 2011, 32(8/9): 4247-4256.
- [21] ZAMAN S U, TAO X Y, COCHRANE C, et al. Wash analyses of flexible and wearable printed circuits for e-textiles and their prediction of damages [J]. Electronics, 2021, 10(11): 1362.
- [22] 王丽. 高耐洗性导电织物的制备及性能研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2021.
- [23] MA Y L, OUYANG J Y, RAZA T, et al. Flexible all-textile dual tactile-tension sensors for monitoring athletic motion during taekwondo [J]. Nano Energy, 2021, 85: 105941.
- [24] 邹颖, 孟粉叶, 王浣雨, 等. 电子纺织品洗涤老化研究进展: 洗涤因素及失效模式 [J]. 丝绸, 2023, 60 (7): 74-83.
- [25] AZANI M R, HASSANPOUR A. Electronic textiles (e-textiles): types, fabrication methods, and recent strategies to overcome durability challenges (washability & flexibility) [J]. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2024, 35(31): 2004.
- [26] LIU W F, SHANGGUAN D K, LEE J C. Evaluation of launderability of electrically conductive fabrics for e-textile applications [J]. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2020, 10(5): 763-769.
- [27] YE X R, SHI B H, LI M, et al. All-textile sensors for boxing punch force and velocity detection [J]. Nano Energy, 2022, 97: 107114.
- [28] ALSHABOUNA F, LEE H S, BARANDUN G, et al. PEDOT: PSS-modified cotton conductive thread for mass manufacturing of textile-based electrical wearable sensors by computerized embroidery [J]. Materials Today, 2022, 59: 56-67.

(下转第 36 页)