

纺织科技发展前沿

蒋高明, 刘海桑, 夏凤林, 郑宝平, 张爱军, 陈超余

(江南大学 纺织科学与工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:随着科学技术的创新和进步, 纺织行业不断迭代升级。前沿技术的跨界与融合, 在理论、应用领域不断推动纺织科技取得重大进步与突破。通过介绍先进技术在纺织纤维材料、纺织智能制造、纺织绿色加工和先进纺织品领域的应用, 综述了纺织行业从纤维到制造, 再到后道加工和应用的全流程研究进展, 总结了纺织纤维先进制备技术、计算机数字化技术在纺织制造领域的应用, 和以环保为核心的纺织绿色加工技术、高科技纺织品在各大产业的应用。随着科技的进一步革新以及对绿色纺织品的更高要求, 以高效化、数字化、智能化、绿色化为导向的多元发展仍是纺织技术革命的方向。

关键词: 纺织; 纤维材料; 智能制造; 绿色加工; 先进纺织

中图分类号: TS 101.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2024)01-0001-10

Textile Science and Technology Development Frontier

JIANG Gaoming, LIU Haisang, XIA Fenglin, ZHENG Baoping, ZHANG Aijun, CHEN Chaoyu

(College of Textile Science and Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Technological innovation and progress are influencing the continuous iteration and upgrading of the textile industry, and the amalgamation of frontier technology is promoting significant achievements in the theoretical and application fields of textile technology. By introducing the application of advanced technology in textile fiber materials, intelligent manufacturing, green processing, and advanced textiles, the research progress of the entire process of the textile industry from fibers to manufacturing, and then to post processing and application is summarized. It also summarizes the advanced preparation technology of textile fibers and the application of digital computer technology in the textile manufacturing, green textile processing technology with environmental protection as its core and the application of high-tech textiles in various industries. With further technological innovation and higher requirements for green textiles, diversified development guided by efficiency, digitization, intelligence, and greening remains the direction of textile technology revolution.

Key words: textile, fiber materials, intelligent manufacturing, green processing, advanced Textile

2023年以来,全球纺织产业经历了一场全面的发展变革,不再局限于为衣着服装和家纺用品领域提供服务,而是已深度渗透到众多领域。纵观纺织技术发展方向,纺织纤维材料仍是行业关注重点,需加强制备技术多点突破,促进技术与应用的深度发展;纺织智能织造领域数字化水平显著提升,智能织造关键技术应用程度逐渐加深;纺织品的绿色加工技术仍是实现生产过程节能减排目标的核心;先进纺织品开发取得长足进步,应用领域不断扩

展,进一步提升了中国高科技纺织品的国际竞争力。

中国纺织产业链在多个环节已达到或超越国际先进水平,确保了产业规模的全球领先地位。然而,与发达国家相比,中国纺织行业在基础前沿和源头创新方面仍存在一定差距,特别是先进材料、高端装备和精细化工等核心技术领域。为在竞争和发展中占据主导地位,中国纺织行业必须加大在这些核心领域的创新研究力度。

收稿日期: 2023-10-02; 修订日期: 2024-01-02。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(52303055)。

作者简介: 蒋高明(1962—),男,教授,博士生导师。主要研究方向为纺织数字化技术与纺织结构材料。Email: jgm@jiangnan.edu.cn

1 纺织纤维材料

目前,中国纤维加工总量约占世界的 50%,其中化纤产量更是名列前茅,约占全世界的 70%^[1],纤维的出口总额约占全世界的 33%。化学纤维材料的应用领域最为广泛,产量、品质和产品附加值不断提高,但仍存在一些不足:支撑先进纤维材料开发的关键原材料(如生物基单体、功能添加剂、催化剂等)依赖进口;常规纤维仍不能满足相关领域对差别化、高功能等的需求;高端功能纤维专用技术与装置水平低,其产业体系配套能力较弱;高端功能纤维规模化制备,不论从纤维的质量(如均匀性和稳定性),还是其生产规模和应用广度,与国外仍存在一定的差距。随着科技的不断变革和发展,材料技术逐渐处于前沿位置,其中纤维材料以其高强度、轻质化、稳定性强的特点,在各领域得到广泛应用,从而进一步提升了纺织行业的价值。

随着科学技术的发展,纤维制备技术也在不断创新。纤维材料从最初的自然纤维发展到现在的生物纤维和化学纤维^[2],各种纤维制备工艺技术不断改进。

1.1 化学纤维高效柔性制备技术

化学纤维高效柔性制备技术主要用于制备差别化氨纶与锦纶。2023 年 YarnExpo 春夏纱线展,连云港杜钟新奥神氨纶有限公司发布了温感形状记忆氨纶和消臭氨纶^[3-4]。温感形状记忆氨纶通过温度的变化改变面料弹性,实现形状记忆;消臭氨纶则可在短时间内迅速吸附异味分子,起到消臭功能。此外,奥神氨纶紧跟大健康、环保发展方向,不断开发原液着色氨纶、卫材氨纶等差别化氨纶。差别化氨纶的开发,积极推动了氨纶制备技术向智能化、可持续化发展。在锦纶制备方面,2021 年中国锦纶的产量为 415 万 t,较 2020 年增加了 30.75 万 t,同比增长 7%;2022 年中国锦纶的产量达 410 万 t,较 2021 年减少了 5 万 t,同比减少 1%。国内锦纶的生产主要受其关键原料己二腈的制约^[5],但在 2022 年,天辰齐翔新材料有限公司的 20 万 t/年己二腈装置,有效缓解了原料制约局面^[6]。

1.2 基础纤维功能化制备技术

基础纤维功能化制备技术通过共聚、共混、复合纺丝等方法,开发抗菌、抗静电、光致变色、生物可降解纤维等复合多功能化学纤维。以 PBS 纤维为例,它是以自然界中可再生农作物为原料,经发酵等途径生产的可生物降解纤维,具有良好的加工性能、机械性能和生物相容性能,广泛应用于农业、

工业生产^[7-8]。

1.3 高性能纤维一体化制备技术

高性能纤维一体化制备技术致力于突破高性能纤维及其复合材料的制备,实现高性能纤维的一体化设计、加工和制造,以解决材料设计和应用上的瓶颈。但中国对超高分子量聚乙烯的研究相对较晚,目前整体产能呈现中低端过剩和高端产能不足的状态。截至 2022 年,中国超高分子量聚乙烯产能仅约 13.8 万 t/年,该产业仍处于初级发展阶段,存在有效供给不足的问题。

1.4 生物基化学纤维规模化加工技术

在生物基化学纤维领域,国内外学者致力于实现如莱赛尔纤维^[9]、生物基聚酰胺纤维^[10]、聚呋喃二甲酸乙二醇酯纤维^[11]等高品质差别化产品高效制备技术的突破,强化制备技术应用开发。

2 纺织智能制造

自“十三五”规划实施以来,纺织行业在数字化、智能化和网络化技术的应用方面取得了显著的进步。当前,国内纺织智能制造得到了长足发展,不仅智能制造关键技术应用较为广泛,智能制造加工技术也得以稳步提升。《中国制造 2025》显示,智能制造将成为中国制造的主流。各企业正在加速向智能化、自动化和网络化转型,纺织行业也将不断向智能化方向高速发展。通过实现智能检测系统、关键纺织智能装备及零部件和纺织专用机器人的产业化,着力打造基于信息新技术的纺织行业智能化工厂。

关键共性技术大数据、人工智能、工业互联网、工业机器人等是目前纺织智能制造发展的重点。围绕智能制造共性技术,需进一步提升纺织细分行业的智能制造产业化技术研发和应用水平。在智能制造与装备方面,还需要提升以下技术水平。

2.1 高技术化学纤维关键装备加工技术

高技术化学纤维制备技术是纤维行业的核心科技,加工设备的智能化能够提升高技术化学纤维制备水平,因此成为企业发展重点^[12-13],被广泛应用于高技术化学纤维制备流程的各环节。传统工艺设备进行智能化升级后,高技术化学纤维生产设备与互联网连接,便于车间智能化管理^[14];自动巡检机器对化纤生产过程中的飘丝、断头等实时监控并进行合理分析,便于工作人员进行精准处理,从而使高技术化学纤维的生产效率不断提高^[15]。

2.2 纺纱智能装备加工技术

纺纱行业向智能化、数字化方向转型,离不开

物联网技术的发展。通过搭建含盖原料、生产到工厂管理及产品溯源的全流程智能化纺纱系统^[16],为关键工序提供保障,提高生产管理效率;通过搭建梳并联自动输送、精梳自动换卷输送、自动接头等生产流程的智能系统,提升纺纱硬件关键技术水平,并对纺纱过程数字化调控^[17-19],助力纺纱装备向高效智能化发展。

2.3 织造关键装备加工技术

2020 年 ITMA 中国国际机械展中的各类新型织造设备,展示了高效节能、数字智能化方向的最新成果^[20]。国产整经机、自动穿经机稳定性提升,减少了织造过程对人工的依赖。江阴市华方新技术科研有限公司研发了高速智能整经机可生产包含 120 根以上化纤的经轴,该设备配备的视觉断纱自停系统通过相机识别报警,智能化水平较高;深圳海弘装备技术有限公司研发了长丝高速全自动穿经机,穿经运行速度高达 260 根/min,大大提升了生产效率。

2.4 高效环保印染加工技术

智能化、数字化在印染行业中的应用,不仅可以提升染色效率,还能节能减排,实现高效减碳^[21-22]。采用高效电动机及设备,从源头降低能耗;建立智慧计划排产系统与全流程数字化管理应用系统,合理利用原料,改善染色过程中用时长、耗电等现象;建立数字化染色工厂,通过对生产过程的智能监控完成对染色工艺的精准调控。智能制造推进了印染行业与信息、互联网等新技术的充分融合,促进印染行业向高效环保方向发展。

2.5 高速宽幅非织造布加工技术

自动化、数字化技术的普及和应用,促进了非织造布生产逐渐向宽幅、高速高效、节能方向发展。水刺、针刺、纺粘、熔喷等所用的非织造装备进一步向智能化、自动化提升,提高了设备可靠性,解决了机构运动高精度化、控制系统智能化等难题^[23-25]。机器学习、视觉图像处理等计算机技术常用于非织造布面质量检测,提高了布料的质量分级效率^[26]。非织造装备自动化程度的提高、节能减排关键设备的研发,为国内非织造布加工设备的智能化开拓了广阔的发展空间。

2.6 智能化服装和家纺装备加工技术

在数字化技术的应用与推动下,智能服装加工技术不断发展,实现了从设计、生产到销售的全方位数字化。目前,数字化软件已实现静态织物结构三维仿真、服装虚拟展示,以及三维动态的织造过程仿真演示及服装走秀,大幅提升了服装设计开发

的视觉效果。在服装三维展示基础上,基于人工智能的服装个性化定制系统应运而生。阿里巴巴 Fashion AI、韩国休闲品牌“SJYP”与德西格公司合作推出人工智能设计的服装、Browzwear SmartDesign 智能设计模板、印度电商网站 Myntra 服装随机生成以及 Adidas 在德国柏林开启了第一家针织高端定制门店,这些个性化定制结合了 3D 智能量体裁衣、服装智能自动裁剪、成衣物流智能配送等技术,同时满足了消费者对便捷化、个性化与舒适性的需求。

在智能化技术驱动下,家纺公司也逐渐向互联网转型。一般家纺产品体量大,人工缝制十分不便,苏州琼派瑞特电子科技有限公司(TPET)开创的“四边缝”技术^[27]通过自动智能化设备很好地解决了这个问题,实现自动切料、送料、封口等。梦洁家纺股份有限公司打造了智能化工厂模式,该模式通过智能技术与生产流水线、生产控制中心、生产过程执行管控、仓储与物流的结合^[28],将智能制造贯穿于各生产环节。

2.7 先进纺织仪器制备技术

纺织仪器的智能化测试是提高纺织品优率的一大重要环节。乌斯特有限公司是生产纺织品质量监控系统设备的公司,不断研发自动电子清纱器、USG 自调匀整系统等纺纱自动化监测修正技术,稳定和提高了纱线质量,在生产过程中消除疵点次品,满足人们对高品质纱线的需求。此外,人工智能检测技术、数字图像处理技术也被广泛应用在纺织服装检测中^[29],其结合了数字技术与网络技术进行布面疵点、破洞的监测,提高了布面质量。

2.8 纺织机械智能化加工技术

纺织智能机械是纺织智能制造与生产的设备基础,研发纺织智能生产线,将纺织机械的智能控制、生产信息化、智能机器人、智能检测等融合到全流程数字化生产中,利用数字化技术进行纺织生产、数据收集与分析、工厂管理等,代替人工作业,保障生产可靠性,提高加工质量。深度神经网络等强大的机器学习系统已被广泛应用于纺织产业的各大车间^[30],实现面料生产染色的智能调度。BMSvision MES 系统通过智能无线网络连接各大生产设备和环节,将设备的运行信息上传至管理系统,实现生产数据的实时监控、报告、调度、预防性维护、织物检查等^[31]。

3 纺织绿色加工

传统纺织业在快速发展过程中,不可避免地造

成了原料过度消耗、能源浪费及纺织品废弃^[32],导致纺织行业对于环境资源的污染浪费大大增加,纺织行业每年的碳排放量高达 33 亿 t^[33]。纺织行业碳排放量长期居高不下的原因:合成纤维制造原料主要为煤与石油;传统纺织生产流程长,导致其对能源的高依赖性;快时尚消费造成大量废弃纺织品等。

纺织品全生命周期包含纤维生产、纺纱织造、染整加工、成品制造、销售使用与回收处理,为满足“碳达峰、碳中和”目标要求下的纺织行业低碳发展需求,在纺织品全生命周期中应融入数字技术,推进纺织加工向数字智能化、绿色节能化方向发展^[34]。纺织行业对环保的控制要从末端防污染推广到全生产流程控制,并就生产各环节进行针对性的合理减排,精准治理。

3.1 纤维生产

纺织品由纤维编织而成,因此对纤维生产进行可持续化绿色把控至关重要。绿色纤维分为生物质化学纤维、循环利用纤维和原液着色纤维^[35]。再生纤维素纤维、再生蛋白质纤维、生物质合成纤维、壳聚糖与海藻纤维等均属于生物质化学纤维。生物质化学纤维来源于自然,原材料污染小,合成加工过程污染少,可循环重复利用^[36],符合绿色可持续发展理念。循环利用纤维是通过物理或化学方法将废弃塑料、废弃纺织原料、废弃纺织品等重新制备成纤维。回收废弃产品,不仅可以增加纤维原料,而且降低了废旧纺织品对环境造成的压力。原液着色纤维是在纤维生产原液中添加具有较好分散稳定性的染色剂,减少纤维后到染色工序,降低染色过程对水体、能源等的污染、浪费。

3.2 纺纱织造

传统纺纱工序烦琐复杂、用工较多,是纺织产业造成能源消耗、碳排放与环境污染的主要环节,因此研发绿色生产装备、使用绿色生产技术极为重要。①结合智能化技术,对纺纱设备进行改进,如采用数字化棉纺装备自动并条机、自动精梳机、自动络筒机等^[37],提高纺纱生产效率,降低能源消耗。②“人-机-料-法-环”五位一体的纺纱新策略,使传统纺纱流程逐渐向短流程高速纺纱技术、超短流程纺纱技术和超纺技术发展,减少了不必要的纺纱流程,达到节能减排效果^[38]。③在纱线后道处理工序中,采用环保型纺织浆料代替 PVA 浆料,能够大幅度减少对环境的污染。

3.3 染整加工

传统纺织染整加工过程中会消耗大量水资源

和能源,排放大量废水废气。目前,少水、无水印染及高效、低成本处理技术逐渐被广泛使用,如无水印染中的超临界流体技术。传统染整中使用水作为介质对纺织品进行染色,无水印染中的超临界流体技术使用超临界二氧化碳流体,增加了上染率,缩短染色流程,且达到了零排放、无污染的清洁生产要求^[39]。荷兰DyeCoo公司于2008年首次使用超临界二氧化碳染色设备。随后,该公司推出了使用相同技术的经轴染色装备系统。2012年夏天Adidas公司的无水印染服装销量高达5万件。国内也有部分企业使用该技术,传统水染需要使用8~12 h完成,而青岛即发集团建立的超临界二氧化碳无水染色产业化示范线仅需3~4 h即可完成染色,大大提高了染色效率。

3.4 成品制造

随着数字化技术的兴起,数字智能化技术逐渐取代了成品制造阶段的人力。先进的布料裁剪设备、自动缝纫设备、智能排产设备的使用,能够尽可能降低由人为造成的废件消耗,且智能排产设备能够将机器运行时间、布料等进行最大限度的合理分配,从而缩短成品生产周期,减少面料与能耗浪费,在提高了生产效率的同时达到了绿色生产的要求。例如,自动化衬衫部件生产设备能够对面料进行精确裁剪缝制,实现服装的大规模自动化生产^[40]。

3.5 销售使用

传统的销售方式以实体经营为主,在销售运输过程中会增加其他能源消耗。随着互联网的发展,线上销售模式逐渐兴起,消费者可通过网络订购完成购买,产品则可由工厂直接发往目的地,从而减少了运输过程与实体渠道的资源浪费。此外,线上销售模式还能通过数学方法和计算机技术,对需求、利润、价格等销售结果进行建模计算,实现服务和收益最大化^[41]。随着互联网服装消费量的增加,虚拟技术被引入服装销售行业^[42]。顾客可以在线上通过三维虚拟试衣选择款式,且销售数据可根据实际销售额进行反馈,从而预测顾客对款式的选择行为。深度学习的应用,大大提高了服装销量预测的准确率^[43],如利用LSTM模型预测温度对各类服装销量的影响^[44],并对针对不同温度的服装生产起到指导作用。

3.6 回收处理

目前,中国每年产生2 600万t废旧纺织品,其中化学纤维约为1 800万t,占比大;天然纤维约800万t,资源浪费严重。《纺织行业“十四五”科技、时尚、绿色发展指导意见》中指出,废旧纺织品

的回收及高值化利用围绕成分识别及分离进行研究,对废旧聚酯、废旧氨纶的清洁再生和循环利用技术进行突破和创新。废旧聚酯纺织品及瓶片经过粉碎、清洗、纺丝等处理^[45],制成纯净再生纤维,实现资源重复使用、再生循环、节能减排。据计算,1 t 再生化纤纱线由约 67 000 个塑料瓶回收制成,可减少二氧化碳 4.2 t,节省石油 0.036 4 t,节省水 6.2 t。

为响应国家倡导的“双碳”发展战略,解决了服装回收难的问题,融合服装回收的闭环供应链应运而生。该闭环供应链集合供应商、经销商、原料种类等多种参数建立了数学模型,计算在回收利用过程中碳排放量,并针对性地提出相应决策方案,减少了供应链运行过程中的碳排放^[46]。一些高校学生通过问卷的方式对旧衣回收情况进行了调查,并根据调查结果制定了线下线上宣传策略,对回收模型也进行了优化^[47]。

4 先进纺织制品

在发达国家的纺织市场中,先进纺织品占有率位于前列;在欧洲纺织市场,先进纺织品占有率达 40% 以上。虽然中国也将先进纺织品作为重点研发方向之一,但由于起步较晚,在设计能力、产品功能方面还未达到国际领先水平。《建设纺织现代化产业体系行动纲要(2022—2035 年)》中提出,目前中国先进纺织品的发展目标是:在适应不断升级的居民消费需求下,能够基本满足下游市场应用,并且提升功能纺织消费品、智能纺织品的品质,建立相对完善的先进纺织品生产制造标准、设计规范和检测认证体系,部分重点产品达到国际领先水平。目前,先进纺织品广泛应用于航空航天、海洋工程、汽车工业、卫生医疗、农业等领域,拥有广阔的应用空间。

4.1 全成形针织产品

全成形针织服装以整件状态、直接三维立体方式一次性编织,无需裁剪、缝合,即可形成体感轻盈、穿着柔软舒适的针织产品。由于全成形针织服装一体成型的特点,在下机时无需再次套口缝合,减少生产流程,节约 53% 用工的同时,还能减少原料消耗,纱线损耗比衣片缝合降低了 2%。据统计,生产 1 件成衣,使用传统打样、织造、裁剪、缝合的方法需要大约 1 个月,而使用全成形方法 15 d 左右即可交货,缩短了从下单到织造交货的周期^[48]。除此之外,全成形针织产品改变了针织产品设计、生

产和流通方式,在互联网技术的推动下,用户根据款式、材质、颜色和人体尺寸即可实现产品的快速定制。

4.2 风力发电

2020 年全球新增风电装机容量为 93 GW,比 2019 年增加了 53%,其中中国新增 71.67 GW,目前,中国复合材料叶片年产量超过 20 万 t。风力发电装机叶片中复合材料占整个叶片总质量的 90%^[49],其中经编多轴向复合材料以其轻质、高强、耐腐蚀、抗疲劳、结构稳定、可设计性强等特性,大量用于风力发电叶片。经编轴向结构以及混杂材料的合理配置,成为进一步提升经编轴向结构风电产品综合性能的重要途径;材料制备成型工艺不断向更高精度、更短流程发展,将进一步提升风电材料的品质和生产效率^[50]。

4.3 航空航天领域

纺织品材料在航空航天领域应用十分广泛^[51],纺织复合材料在该领域的发展空间也十分广阔,例如宇航服、降落伞、飞行器机翼、机身、导流罩和内部装饰等。经编轴向复合材料为无屈曲结构^[52],由于其质量轻、体积小、强度大,弹性模量大,且具有良好的阻燃性能,常用于飞机壳体的制备。航天器对于自身质量有较高的要求,碳纳米管增强复合材料以其轻质高强的特点减轻了运载火箭总质量的 30%,提高了航天器的安全性。柔性气凝胶及其复合材料具有耐高温、超薄高强的特点,常用于宇航服等隔热材料航空航天用品。

4.4 汽车领域

随着人们对汽车材料的安全、保暖、隔音性能要求逐渐提高,汽车用纺织品的需求量也越来越大。目前,全球汽车用纺织品年需求量在 10 亿 m² 以上,美国每年用于汽车内的纺织品达 2 亿 m² 以上,欧洲年需求量 1 亿 m²。

经编多轴向曲面复合材料整体塑性变形小,成型性能优异,不易产生应力集中,在碰撞后恢复能力强,通过材料内部的损伤来实现能量吸收,因此多用于汽车壳体的制备。在碰撞事故发生时,可更有效地保护车内成员安全,安全带和安全气囊同样是保障行驶安全的重要部件^[53]。研究发现,为使安全带耐磨舒适,不加捻的纱线被广泛应用于安全带的制造,此类纱线不仅提高了安全带的密度,还提高了拉伸强度和撕裂强度。目前,安全气囊普遍采用高强度的锦纶 66 进行编织,并复合耐热性更强的硅橡胶,以提高气囊的耐热性^[53]。美国 Allied Signal 公司生产的 Saty Gard PA6 气囊由长丝织造,抗撕裂性、抗

冲击性等均优于锦纶 66 气囊,是目前使用较多的气囊。

4.5 土工建筑领域

土工建筑纺织品常用于土壤加固、排水、斜坡防护等^[54]。中国建筑用纺织品纤维加工量维持稳步上升趋势,预计 2024 年将会达到 129 万 t。目前,纺织品在土工建筑领域的应用主要以轴向结构为主,采用碳纤维双轴向经编结构增强混凝土可减少 70% 水泥用量,密度仅为原钢结构混凝土的 20%,但抗拉强度为钢材的 10 倍,且更加耐腐蚀,稳定性更强,使用寿命可达到 500 年^[55]。经编土工织物和纬编多层轴向织物以全幅衬纬结构为特征,与沥青复合可作为地震多发区域墙体的补强材料。经编衬纬间隔织物与混凝土复合,具有设计灵活、节约成本等特点,作为房屋墙体材料,实现了低厚度、高强度的要求。

4.6 农业领域

纺织技术的进步,推动农业用纺织品在农业生产中的应用,进而促进了现代农业生产的进步。在现代高科技的支持下,国内农林用纺织品在产业用纺织品中占比 4% ~ 5%,国际上达到 15%,但仍有较大提升空间。

农业用纺织品的应用环境变化较大,时常需要经受风吹日晒及各种气候环境考验。因此,农业用纺织品的性能要求较高,需要具有良好的干、湿强度,耐气候性、耐光学性和耐化学性,具有透气、透湿性,不影响农作物生长。大棚织物能够增加植物的产量,例如采用无纺布浮排覆盖能够促进植物的出苗^[56]。高强涤纶丝 PVC 织造而成的双轴向涂层布柔性材料作为大棚墙体,可使得土地利用率相比传统日光大棚提高 30% ~ 50%^[57-58]。此外,大棚织物还需要较好的生物降解性,大棚布及作物生长基材能够降解,不污染环境。灌溉用纺织品常采用机织、针织或非织造管织造,通过调整灌溉用纺织品的织造工艺参数来改变布面上网眼大小及分布,保证出水柔和均匀。微气候调节用纺织品可以调节作物生长环境的温湿度,改变不同作物的环境光照,提前或延后作物生产期,使作物增产 10% ~ 20%。

4.7 海洋工程领域

纺织材料作为海洋工程的基础材料应用十分广泛,尤其是经编网类材料,性能独特,在海洋工程中发挥着不可替代的作用。

特宽幅经编网格织物材料抗风能力强,抗海水腐蚀性强,抗冲击性能高,满足了海洋防护工程的

需求。海洋养殖业中,贝类养殖占全国海洋养殖业总产量 75%,但海洋养殖藻类只占 10.5%,鱼类与虾蟹类仅占 7%,海洋养殖有极大的发展潜力,这对海洋养殖设施(如海洋养殖箱体材料)提出了新要求。目前,许多学者着力于海洋养殖网箱的水动力载荷研究^[59-60],通过有限元法、数值研究法等对网箱织物在纯流、波流等作用下的张力和面法向偏移进行研究,对网箱结构设计具有指导意义。

4.8 医疗卫生领域

目前,全球医疗业发展迅速,技术水平提升快,对医疗卫生用纺织品的需求也逐步增加。为此,通过医学领域与纺织领域的交叉结合,开发出许多复合性、高安全性等医疗用纺织品。

植入式医用纺织材料包括人工支架、人造血管、人工关节、疝气补片等,一般采用经编、立体编织技术得到管状织物,再进行涂层复合工艺得到成品。对人工支架等植入式医用纺织品形状性能的研究,可为产品设计的尺寸、形状、材料、性能等提供科学依据^[61]。感染防护产品主要包括手术衣、帽、口罩、手术包等,其原料主要是纺粘非织造布、熔喷非织造布、针织布等。纺熔复合非织造布具有独特的超微细纤维的致密中间层,对微生物有良好的阻挡效果,能够为医患提供更好保护,降低手术感染风险,减少抗生素使用^[62]。以抗菌纱线为原料的针织全成形口罩不仅能够起到抗菌作用,其一次成形技术还能提高口罩的舒适性和生产效率,为口罩设计开发提供新思路^[63]。

4.9 智能纺织品

随着科技发展和民生消费逐渐增强,智能穿戴设备逐渐成为消费的热点之一,全球销量不断攀升,2020 年销售智能穿戴设备 4.5 亿台,预估到 2025 年,销售量将达到近 8 亿台。智能穿戴设备从手戴式的智能眼镜、智能手表到穿着式的智能服装、智能鞋材等,对人们生活产生了积极影响,有巨大的发展潜力。随着对运动及健康监控的要求提高以及 5G 的发展,智能纺织品必然会得到快速发展。

智能可穿戴设备结合了传感器技术、通信技术、柔性元件技术等,可在使用过程中完成数据监测、收集与分析等^[64]。由于其移动性佳、使用简便、交互性好,智能可穿戴设备在各领域具有极大的应用潜力。在运动时配备心率监测带,能够及时监测心率变化,对运动员起到呼吸指导与提醒作用。智能运动服与智能跑鞋^[65-66]的应用也能够通过数据分析及反馈提高运动效率。在医疗健康领域,常见

的心电检测服装、智能婴儿袜、智能手套等,通过传感器监测人体的状态行为变化,便于医护人员及时获取病患信息。此外,热感变色服饰、智能发光服饰、触摸电容手套、LED 制服、反侦察隐形服装等智能纺织品,都为人们生活工作带来极大便利。

5 结 语

纺织科技的蓬勃发展对纺织品开发提出了新要求,加速了新技术在纺织领域的应用,不断推进了纺织技术的革新。纺织品不仅满足于普通服装领域需求,在产业领域的发展空间也十分广阔,涵盖了纤维制造、面料织造、绿色加工及产品应用等各方面。智能制造在纺织行业中的应用与发展,不断加快着传统纺织业向智能化、数字化的进一步转型升级。未来,我们要抓住新一轮产业革命的机遇,迅速融入“智能制造”与“绿色制造”行动计划,加快纺织业与其他领域的交叉融合,提升传统纺织行业的竞争力。

参考文献:

[1] 乌婧,江振林,吉鹏,等. 纺织品前瞻性制备技术及应用研究现状与发展趋势[J]. 纺织学报, 2023, 44 (1): 1-10.
WU Jing, JIANG Zhenlin, JI Peng, et al. Research status and development trend of perspective preparation technologies and applications for textiles [J]. Journal of Textile Research, 2023, 44(1): 1-10. (in Chinese)

[2] 邵丽丹. 纺织纤维发展和新型纤维应用[J]. 商品与质量,2021(1): 280.
SHAO Lidan. Fiber development and application of new fiber [J]. Shangpin Yu Zhiliang, 2021 (1): 280. (in Chinese)

[3] 董雅琪. 杜钟新奥神: 专注差别化氨纶[J]. 纺织科学研究, 2023, 34(7): 32-33.
DONG Yaqi. DU Zhong's new Olympic spirit: focusing on differentiated spandex [J]. Textile Science Research, 2023, 34(7): 32-33. (in Chinese)

[4] 郭春花. 开启差别化氨纶新篇章,奥神发布温感形状记忆氨纶和消臭氨纶[J]. 纺织服装周刊, 2023 (14): 24.
GUO Chunhua. Opening a new chapter in differentiated spandex, aoshen releases warm shape memory spandex and deodorizing spandex [J]. Textile and Apparel Weekly, 2023(14): 24. (in Chinese)

[5] 屠庆华. 己二腈行业现状及发展趋势分析[J]. 化学工业, 2020, 38(1): 44-51.
TU Qinghua. Current situation and development trend of adiponitrile industry [J]. Chemical Industry, 2020, 38

(1): 44-51. (in Chinese)

[6] 刘海军. 山东尼龙产业链按下快进键[J]. 中国石油和化工产业观察, 2022(6): 23-24.
LIU Haijun. Shandong nylon industry chain press the fast forward button [J]. China Petrochemical Industry Observer, 2022(6): 23-24. (in Chinese)

[7] 钱忠英,刘滔,杨环毓,等. 脂肪酶降解聚丁二酸丁二醇酯研究进展[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(8): 69-75.
QIAN Zhongying, LIU Tao, YANG Huanyu, et al. Research progress of enzymatic degradation of poly (butylene succinate) by lipases [J]. Environmental Science and Technology, 2019, 42 (8): 69-75. (in Chinese)

[8] 曹宇恒,王秀华,王勇,等. PBS 纤维制备过程中白粉的成因分析[J]. 中国科技论文在线精品论文, 2020, 13(3): 249-255.
CAO Yuheng, WANG Xiuhua, WANG Yong, et al. Causal analysis of white powder during PBS fiber preparation [J]. Highlights of Sciencepaper Online, 2020, 13 (3): 249-255. (in Chinese)

[9] 吴永世. 莱赛尔纤维的制备方法及由此制备的莱赛尔纤维及工业丝: CN113718350A[P]. 2021-11-30.

[10] 董奎勇,杨婷婷,王学利,等. 生物基聚酯与聚酰胺纤维的研发进展 [J]. 纺织学报, 2020, 41 (1): 174-183.
DONG Kuiyong, YANG Tingting, WANG Xueli, et al. Research and development progress of bio-based polyester and polyamide fibers [J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(1): 174-183. (in Chinese)

[11] 赫爽. 生物基聚呋喃二甲酸二醇酯的合成及纤维的制备与表征[D]. 上海: 东华大学, 2022.

[12] 佚名. 化纤设备 [J]. 中国纺织 (英文版), 2021 (3): 108-116.
Anon. Man-made fiber equipment [J]. China Textile (English), 2021(3): 108-116. (in Chinese)

[13] 孙俊杰. 新风鸣: “互联网 +” 模式下化纤智能工厂建设之路[J]. 中国工业和信息化, 2021(10): 68-74.
SUN Junjie. Xin fengming: the road to the construction of chemical fiber intelligent factory under the mode of "internet plus" [J]. China Industry and Information Technology, 2021(10): 68-74. (in Chinese)

[14] 武筱婷. 中国纺织机械协会产业五部主任刘革:绿色、智能促高质发展[J]. 纺织机械,2019(6):36-37.
WU Xiaoting. Director of industry department 5 of China textile machinery association LIU Ge: green and intelligent promote high-quality development [J]. Textile Machinery, 2019(6):36-37. (in Chinese)

[15] 李玉潮,刘亚盟,王亚江,等. 绿色智能制造在化纤行业的应用[J]. 合成纤维, 2020, 49(8): 20-24.

- LI Yuchao, LIU Yameng, WANG Yajiang, et al. Application of green intelligent manufacturing in chemical fiber industry[J]. *Synthetic Fiber in China*, 2020, 49(8): 20-24. (in Chinese)
- [16] 管锦文, 徐旻. 棉纺数字化车间及其智能化特点[J]. *棉纺织技术*, 2016, 44(10): 86-90.
- GUAN Jinwen, XU Min. Cotton spinning digital workshop and its intelligentization characteristics[J]. *Cotton Textile Technology*, 2016, 44(10): 86-90. (in Chinese)
- [17] 管幼平, 李增润, 李杨, 等. 面向智能制造的数控纺纱技术及数字化纱线产品研发[J]. *纺织导报*, 2019(3): 42-47.
- GUAN Youping, LI Zengrun, LI Yang, et al. Intelligent manufacturing oriented CNC spinning technology and digital yarn product development[J]. *China Textile Leader*, 2019(3): 42-47. (in Chinese)
- [18] 万由顺, 卫江, 桂长明, 等. 全流程智能化纺纱技术创新点及应用效果[J]. *棉纺织技术*, 2020, 48(1): 28-33.
- WAN Youshun, WEI Jiang, GUI Changming, et al. Innovation point and application effect of whole process intelligent spinning technology[J]. *Cotton Textile Technology*, 2020, 48(1): 28-33. (in Chinese)
- [19] 李新荣, 韩鹏辉, 李瑞芬, 等. 数字孪生在纺纱领域应用的关键技术解析[J]. *纺织学报*, 2023, 44(10): 214-222.
- LI Xinrong, HAN Penghui, LI Ruifen, et al. Review and analysis on key technology of digital twin in spinning field[J]. *Journal of Textile Research*, 2023, 44(10): 214-222. (in Chinese)
- [20] 张巍峰, 吕思晨, 贾慧莹, 等. 长丝织造装备迈向高速智能化[J]. *纺织科学研究*, 2021, 32(7): 25-27.
- ZHANG Weifeng, LYU Sichen, JIA Huiying, et al. Filament weaving equipment is moving towards high-speed intelligence[J]. *Textile Science Research*, 2021, 32(7): 25-27. (in Chinese)
- [21] 莫荣明, 莫东海, 杨广权. 针织印染企业未来十年碳达峰的战略基础探讨[J]. *针织工业*, 2022(4): 30-33.
- MO Rongming, MO Donghai, YANG Guangquan. Strengthen the strategic foundation of carbon peak for knitting printing and dyeing enterprises in the next decade[J]. *Knitting Industries*, 2022(4): 30-33. (in Chinese)
- [22] 龚煜雯. 印染智能化背景下的产业升级[J]. *染整技术*, 2023, 45(7): 102-104.
- GONG Yuwen. Industrial upgrading under the background of intelligent printing and dyeing[J]. *Textile Dyeing and Finishing Journal*, 2023, 45(7): 102-104. (in Chinese)
- [23] 夏小云. 九一高科: 在应变中蜕变[J]. *纺织机械*, 2023(2): 54.
- XIA Xiaoyun. 91 high school: changing in the strain[J]. *Textile Machinery*, 2023(2): 54. (in Chinese)
- [24] 佚名. 非织造布机械“十三五”重点科技攻关项目[J]. *纺织检测与标准*, 2016, 2(2): 49-50.
- Anon. Key scientific and technological research projects of nonwoven machinery in the "Thirteenth Five-Year Plan"[J]. *Textile Testing and Standard*, 2016, 2(2): 49-50. (in Chinese)
- [25] 佚名. 非织造布机械: 智能化、自动化展现装备先进性[J]. *纺织机械*, 2019(6): 75-76.
- Anon. Nonwovens machinery: intelligent and automatic to show the advanced nature of equipment[J]. *Textile Machinery*, 2019(6): 75-76. (in Chinese)
- [26] 王飞. 基于形态特征的几种非织造用纤维的检测及算法研究[D]. 上海: 东华大学, 2019.
- [27] 梁莉萍. 苏州琼派瑞特: 致力实现家纺缝制行业智能化[J]. *中国纺织*, 2021(S3): 60.
- LIANG Liping. Suzhou qiongpairuite: committed to realizing the intelligentization of home textile sewing industry[J]. *China Textile*, 2021(S3): 60. (in Chinese)
- [28] 田志萍. “互联网+”下山东省制造业智能升级研究[D]. 聊城: 聊城大学, 2018.
- [29] 谭志乐, 黄一珺. 试论纺织服装检测中现代仪器检测技术的应用[J]. *鞋类工艺与设计*, 2022, 2(1): 18-20.
- TAN Zhile, HUANG Yijun. Application of modern instrument testing technology in textile and garment testing[J]. *Shoes Technology and Design*, 2022, 2(1): 18-20. (in Chinese)
- [30] 贺俊杰, 张洁, 张朋, 等. 基于多智能体强化学习的纺织面料染色车间动态调度方法[J]. *计算机集成制造系统*, 2023, 29(1): 61-74.
- HE Junjie, ZHANG Jie, ZHANG Peng, et al. Multi-agent reinforcement learning based textile dyeing workshop dynamic scheduling method[J]. *Computer Integrated Manufacturing System*, 2023, 29(1): 61-74. (in Chinese)
- [31] The Indian Textile Journal Group. BMSvision's smart textile manufacturing[J]. *The Indian Textile Journal*, 2019, 129(9): 100.
- [32] SADEGHI B, MARFAVI Y, ALIAKBARI R, et al. Recent studies on recycled PET fibers: production and applications: a review[J]. *Materials Circular Economy*, 2021, 3(1): 4.
- [33] Environmental Audit Committee. Fixing fashion: clothing consumption and sustainability[EB/OL]. (2019-02-19) [2023-08-01] <https://publications.parliament.uk/pa/cm201719/cmselect/cmenvaud/1952/report-summary.html>.
- [34] 汪军. 纺纱新技术发展现状及趋势[J]. *棉纺织技术*, 2022, 50(8): 1-6.

- WANG Jun. Development status and trend of spinning new technology[J]. Cotton Textile Technology, 2022, 50(8): 1-6. (in Chinese)
- [35] 万殊姝, 沈兰萍, 郭晶. 可持续发展绿色纤维发展现状与应用前景[J]. 针织工业, 2021(1): 30-33.
- WAN Shushu, SHEN Lanping, GUO Jing. Development status and prospect of sustainable green fiber[J]. Knitting Industries, 2021(1): 30-33. (in Chinese)
- [36] 付少举, 张佩华. 智能绿色纺织新型原料的开发现状及趋势[J]. 针织工业, 2020(7): 10-15.
- FU Shaoju, ZHANG Peihua. Development situation and trend of new intelligent green textile materials[J]. Knitting Industries, 2020(7): 10-15. (in Chinese)
- [37] 杨华明, 齐泽京, 梅顺齐. 全流程数字化智能化纺纱装备的开发与实践[J]. 纺织科学研究, 2021, 32(6): 38-40.
- YANG Huaming, QI Zejing, MEI Shunqi. Development and practice of digital intelligent spinning equipment with whole process[J]. Textile Science Research, 2021, 32(6): 38-40. (in Chinese)
- [38] 夏治刚, 徐傲, 万由顺, 等. 基于碳中和的人-机-料-法-环五位一体纺纱新技术解析[J]. 纺织学报, 2022, 43(1): 58-66, 88.
- XIA Zhigang, XU Ao, WAN Youshun, et al. Analysis of new five-element-integration spinning technology based on human-machine-material-method-environment for carbon neutralization[J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(1): 58-66, 88. (in Chinese)
- [39] 郑环达, 郑来久. 超临界流体染整技术研究进展[J]. 纺织学报, 2015, 36(9): 141-148.
- ZHENG Huanda, ZHENG Laijiu. Research development of supercritical fluid dyeing and finishing technology[J]. Journal of Textile Research, 2015, 36(9): 141-148. (in Chinese)
- [40] SANTOS P, CAMPILHO R, SILVA F. A new concept of full-automated equipment for the manufacture of shirt collars and cuffs[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2021(67): 102023.
- [41] 徐琪, 赵婉. 考虑两阶段销售的线上时尚服装零售商优化定价和服务决策[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2020, 46(5): 810-818.
- XU Qi, ZHAO Wan. Optimal pricing and service decision of fashion apparel for online retailers considering two stage sales[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2020, 46(5): 810-818. (in Chinese)
- [42] HWANGBO H, KIM H E, LEE S H, et al. Effects of 3D virtual "try-on" on online sales and customers' purchasing experiences[J]. IEEE Access, 2020, 8: 189479-189489.
- [43] 何金枝, 梁丽莎, 侯科宇, 等. 线下鞋类门店产品关注度数据采集系统的设计及实证研究[J]. 皮革科学与工程, 2020, 30(1): 64-67.
- HE Jinzhi, LIANG Lisha, HOU Keyu, et al. System design for attention data recording and its application in offline shoe stores[J]. Leather Science and Engineering, 2020, 30(1): 64-67. (in Chinese)
- [44] HONG J K. LSTM-based Sales Forecasting Model[J]. KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS), 2021, 15(4): 1232-1245.
- [45] 韩非, 郎晨宏, 邱夷平. 废旧纺织品资源化循环利用研究进展[J]. 纺织学报, 2022, 43(1): 96-105.
- HAN Fei, LANG Chenhong, QIU Yiping. Research progress in resource recycling based on waste textiles[J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(1): 96-105. (in Chinese)
- [46] 郭传好, 刘镇宇. 低碳视角下集成式纺织服装闭环供应链运作决策[J]. 供应链管理, 2024(1): 54-71.
- GUO Chuanhao, LIU Zhenyu. Operational decision of integrated textile and apparel closed-loop supply China from low carbon perspective[J]. Supply Chain Management, 2024(1): 54-71. (in Chinese)
- [47] 赖美龄, 倪紫歆, 于洋. 基于高校对旧衣回收模式优化的分析——以吉林财经大学为例[J]. 今日财富, 2023(13): 164-166.
- LAI Meiling, NI Zixin, YU Yang. Analysis on the optimization of the recycling mode of old clothes in colleges and universities—taking Jilin University of Finance and Economics as an example[J]. Fortune Today, 2023(13): 164-166. (in Chinese)
- [48] 彭佳佳. 基于线圈结构的全成形毛衫三维仿真[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- [49] 高会焕. 纤维增强材料风机叶片发展概述[J]. 玻璃钢/复合材料, 2009(4): 104-108, 103.
- GAO Huihuan. Overview of the development for fiber reinforce composite wind turbine blade[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2009(4): 104-108, 103. (in Chinese)
- [50] 蒋高明, 周濛濛, 郑宝平, 等. 绿色低碳针织技术研究进展[J]. 纺织学报, 2022, 43(1): 67-73.
- JIANG Gaoming, ZHOU Mengmeng, ZHENG Baoping, et al. Research progress of green and low-carbon knitting technology[J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(1): 67-73. (in Chinese)
- [51] 赵颖. 航空航天用纺织材料全球关注[J]. 纺织科学研究, 2021, 32(9): 24-25.
- ZHAO Ying. Global attention to textile materials for aerospace[J]. Textile Science Research, 2021, 32(9): 24-25. (in Chinese)
- [52] 蒋高明, 高哲. 经编技术在航空航天领域的应用与展望[J]. 纺织导报, 2018, 25(201): 88-91.
- JIANG Gaoming, GAO Zhe. Application and prospect of

- warp knitting technology in the aerospace field[J]. China Textile Leader, 2018, 25(201): 88-91. (in Chinese)
- [53] 王霁, 宁新, 陈富星. 汽车用纺织品材料的应用与发展[J]. 纺织导报, 2021, 28(8): 28-33.
WANG Ji, NING Xin, CHEN Fuxing. Application and development of automotive textiles [J]. China Textile Leader, 2021, 28(8): 28-33. (in Chinese)
- [54] 赵永霞. 国内外土工用纺织品的发展现状及前景[J]. 纺织导报, 2014(5): 35-43.
ZHAO Yongxia. Development status-quo and prospect of global geotextiles industry [J]. China Textile Leader, 2014(5): 35-43. (in Chinese)
- [55] 陈亮亮. 碳纤维复合材料在钢筋混凝土加固中的应用[J]. 居业, 2015, 7(24): 71-72.
CHEN Liangliang. Application of carbon fiber composite material in reinforced concrete reinforcement[J]. Create Living, 2015, 7(24): 71-72. (in Chinese)
- [56] HIRAI G. The effect of non-woven fabric floating row covers on the emergence, growth, and bulb yield of direct-seeded onions (*Allium cepa* L.) in a subarctic area[J]. The Horticulture Journal, 2019, 88(1): 67-75.
- [57] 王霖, 李永香. CINTe20 北京时尚控股有限责任公司展台新品牌新业态亮点纷呈[J]. 时尚北京, 2020(10): 60-62.
WANG Lin, LI Yongxiang. CINTe20 Beijing Fashion Holding Limited liability company booth new brand new business highlights[J]. Fashion Beijing, 2020(10): 60-62. (in Chinese)
- [58] 顾娅, 张蕾, 韩悦, 等. 温室大棚用纺织品发展现状及展望[J]. 印染助剂, 2023, 40(7): 1-5.
GU Ya, ZHANG Lei, HAN Yue, et al. Development status and prospect of textile of textiles for greenhouse [J]. Textile Auxiliaries, 2023, 40(7): 1-5. (in Chinese)
- [59] 桂福坤, 祝含接, 冯德军. 海洋养殖网衣水动力特性研究进展[J]. 渔业现代化, 2019, 46(5): 9-14, 21.
GUI Fukun, ZHU Hanjie, FENG Dejun. Research progress on hydrodynamic characteristic of marine aquaculture netting [J]. Fishery Modernization, 2019, 46(5): 9-14, 21. (in Chinese)
- [60] 吴皓, 刘强, 范为. 养殖网箱网纲和网衣水动力载荷研究[J]. 渔业现代化, 2023, 50(5): 43-51.
WU Hao, LIU Qiang, FAN Wei. Study on hydrodynamic load of ropes and nets[J]. Fishery Modernization, 2023, 50(5): 43-51. (in Chinese)
- [61] 杨新月, 马颜雪, 徐宸, 等. “哑铃”形人工气管支架的设计、制备与性能研究[J]. 产业用纺织品, 2023, 41(5): 25-32.
YANG Xinyue, MA Yanxue, XU Chen, et al. Design, preparation and performance of “dumbbell” shaped artificial tracheal stent[J]. Technical Textiles, 2023, 41(5): 25-32. (in Chinese)
- [62] 韩颖, 张升友, 漆小华, 等. 纺熔非织造布在卫生用品行业的应用及趋势[J]. 生活用纸, 2023, 23(11): 59-62.
HAN Ying, ZHANG Shengyou, QI Xiaohua, et al. Application and trend of spunmelt nonwovens in sanitary products industry[J]. Tissue Paper Disposable Products, 2023, 23(11): 59-62. (in Chinese)
- [63] 梁鑫花, 丛洪莲, 黄娴, 等. 针织全成形抗菌防护口罩的开发与性能研究[J]. 丝绸, 2021, 58(7): 117-121.
LIANG Xinhua, CONG Honglian, HUANG Xian, et al. Research on development and performance of knitted full-formed anti-bacterial protective mask[J]. Journal of Silk, 2021, 58(7): 117-121. (in Chinese)
- [64] 张祥磊, 杨翠钰, 于维晶. 浅谈可穿戴智能纺织品的发展现状[J]. 棉纺织技术, 2020, 48(9): 80-84.
ZHANG Xianglei, YANG Cuiyu, YU Weijing. Discussion on development status of wearable smart textiles [J]. Cotton Textile Technology, 2020, 48(9): 80-84. (in Chinese)
- [65] 冯雨果, 刘宇, 周晋. 可穿戴惯性传感器在全膝关节置换术后步态分析中的应用进展[J]. 皮革科学与工程, 2023, 33(6): 52-58.
FENG Yuguo, LIU Yu, ZHOU Jin. A review of gait analysis after total knee arthroplasty using wearable inertial measurement sensors[J]. Leather Science and Engineering, 2023, 33(6): 52-58. (in Chinese)
- [66] 石文奇, 程凡, 王斌, 等. 基于层次分析法和感性工学的智能童鞋款式设计[J]. 皮革科学与工程, 2023, 33(1): 75-79.
SHI Wenqi, CHENG Fan, WANG Bin, et al. Style design of intelligent children's shoes based on AHP and kansei engineering[J]. Leather Science and Engineering, 2023, 33(1): 75-79. (in Chinese) (责任编辑: 卢杰)