

面向个性化定制的医用压力袜快速设计与制造系统集成研究

朱凯军

浙江迈兹袜业科技有限公司 浙江 金华 321000

【摘要】：医用压力袜是治疗静脉疾病的关键制品，但传统标准化生产难以满足个性化需求。构建快速设计与制造系统是实行业智能化升级的重要方向。本文基于纺织工程、生物力学及智能制造理论，系统推演该系统的构建路径。研究涵盖需求特征、人体数据建模、压力与结构快速设计、柔性织造适配、全流程集成架构及可靠性分析六大核心层面，解析数据、设计、制造与质量链的协同机制。通过多维度推演，提出支撑“多品种、小批量、快响应”的集成方案，旨在实现临床精准适配、缩短交付周期并提升产品一致性。研究成果丰富了医用纺织品个性化设计理论，完善了柔性制造体系，对推动产业向精准化、数字化、智能化转型具有重要理论与工程价值。

【关键词】：医用压力袜；个性化定制；快速设计；智能制造；系统集成；纺织数字化；压力分布；人体工学

DOI:10.12417/3083-5526.26.01.070

引言

随着医疗健康服务向精准化、个体化转型，医用压力袜需求结构变化。传统标准化生产模式难适配个体差异，影响疗效与患者依从性；个性化定制虽能精准匹配，但面临数据采集非标、设计模型通用性弱等瓶颈，且传统设计与制造独立，导致定制周期长、成本高、稳定性不足，难以规模化推广。近年来，三维测量等技术成熟为突破局限提供可能，全流程系统集成是解决痛点关键路径，但当前研究多局限单一环节，缺乏全链条集成理论及设计制造耦合关系深度解析。本文立足多学科交叉视角，以医用压力袜快速设计与制造系统集成成为对象，构建完整理论体系，明确系统集成目标等，提出快速设计方法与制造集成路径，为相关研发及产业升级提供理论依据。

1 个性化定制医用压力袜的需求特征与技术瓶颈

1.1 医用压力袜个性化定制的核心需求

医用压力袜个性化定制并非简单尺寸缩放，而是基于生物力学与血液循环机理精准重构，实现形态、力学、功能与舒适性统一。在人体形态上，针对下肢个体差异，以真实人体数据定制，确保袜体与肢体贴合，避免压力问题。在病理治疗方面，遵循压力梯度原理，根据不同病理情况定制压力曲线，满足特定场景需求。在使用场景方面，结合患者情况对材质进行个性化匹配，提升依从性。此外，需突破传统周期限制，实现快速设计制造。

1.2 传统设计与制造模式的主要局限

传统模式以经验驱动、批量生产和分段作业为主，难以支撑个性化与快速化。设计端缺乏真实数据，难生成精准压力梯度，参数转化困难需反复试织；制造端换型效率低、成本高，信息断层质量难追溯；评价端依赖人工检测，缺乏闭环反馈，设计与成品有偏差。整体存在数据孤岛、协同不足、响应慢等问题。

1.3 系统集成视角下的关键技术瓶颈

面向个性化的系统集成需突破数据、设计、制造、控制与质量五大瓶颈。数据层缺乏标准化流程，影响设计输入；设计层无统一参数化模型，多变量关系不明；制造层设计与设备无直接数据通路，工艺依赖经验；系统层各单元独立，缺乏协同机制，效率低下；质量层缺乏检测与修正机制，难保证产品一致性。因此，需以系统集成思维重构全流程，打通数据与制造链。

2 人体肢体数据感知与数字化建模

2.1 个性化数据采集的原则与维度

医用压力袜定制数据采集以精准、高效、无创、可重复为原则，在保证安全的前提下获取形态与生理信息。数据采集维度分形态、生理、需求三类，构成完整信息集。

形态数据含踝部围度等，用于构建三维袜体结构；生理数据含皮肤软组织特性等，用于确定压力梯度等；需求数据含穿戴场景等，用于个性化配置。

数据采集要遵循生物相容性要求，避免二次刺激，且流程要简化高效，减少患者等待与操作复杂度。

2.2 三维肢体数字化建模方法

三维肢体建模连接数据采集与快速设计，将离散信息转化为可编辑数字模型。建模以曲面重构等为主要步骤，在保证精度的前提下提升效率。

通过提取关键截面与特征点构建三维曲面，确保袜体贴合肢体；嵌入关键特征点，精准对应生理位置。建模要消除异常与干扰，保证稳定性与可重复性。简化模型可降低运算负荷，提升设计速度，为快速设计提供载体。

数字化模型能实现设计参数与人体形态的动态绑定，需求变化时可自动更新，避免重复建模与调试，实现快速响应。

2.3 数据标准化与接口统一

为实现设计与制造系统集成,需建立统一的数据标准与接口规范。数据标准化涵盖坐标系等多方面,确保全流程数据一致。

统一接口使各类参数在不同模块无损传递,消除误差与人工干预。标准化与接口化是系统集成基础,能实现多模块协同,为快速设计与智能制造提供数据保障。

3 医用压力袜个性化快速设计理论与方法

3.1 基于生物力学的压力分布设计原理

医用压力袜核心功能是提供可控、连续、递减的外部压力以促进静脉回流。个性化压力设计依据生物力学与血液循环机理,将病理需求转化为压力曲线。

压力梯度由踝部向上递减,不同病理等级对应不同压力区间与衰减速率。个性化设计要根据肢体情况调整压力分布,避免损伤或疗效不足。其压力分布是与三维曲面联动的动态分布,确保稳定压力输出。

压力设计与弹性纱线配比等参数紧密相关,快速设计系统需建立统一模型,实现压力目标到结构参数的自动映射。

3.2 参数化结构快速生成机制

快速设计核心是建立参数化驱动模型,将结构设计转化为可调节的参数体系。参数分为形态、压力、结构、工艺四类,彼此联动约束。

形态参数定袜体轮廓尺寸,压力参数定压力梯度与弹性分布,结构参数定线圈结构等,工艺参数定织造速度等。用户修改输入参数,系统可自动更新相关参数并生成完整方案。

参数化设计能快速输出产品图纸与工艺指令,压缩设计周期,满足快速定制需求,且扩展性良好,可提升定制覆盖能力。

3.3 舒适性与功能性协同设计

个性化定制需平衡舒适性与功能性。舒适性设计通过局部结构等实现透气、柔软等目标;功能性设计通过原料选择等满足抑菌、防过敏等要求。

快速设计系统将两项指标转化为可量化约束,生成方案时自动满足多目标,避免功能失衡。协同设计旨在寻找最优解,使产品既满足治疗要求,又保障长期穿戴的安全舒适,提升患者依从性与临床认可度。

4 数字化制造系统与柔性生产单元构建

4.1 数字化架构与智能织造参数映射

个性化定制制造系统采用模块化、柔性化架构,由智能织造、弹性定型、后整理、质量检测及物流转运单元组成,核心在于实现设计数据直接驱动生产设备。系统支持从单双到小批量的多规模订单快速换型,无需更换模具即可通过更新参数完

成切换。在核心织造环节,利用无缝圆机技术,将设计模型中的压力分布、弹性梯度及组织结构自动转化为针筒参数、选针指令、纱线张力等控制指令,实现“设计-工艺”的一一精准映射。系统具备工艺自稳定功能,确保在不同曲面形态下维持张力与线圈一致性,保证定制产品的重复精度与力学性能。

4.2 柔性定型与功能后整理集成

为解决传统固定模具导致的压力偏差与形态失真问题,系统引入柔性定型技术,能够自适应不同尺寸与肢体形态,确保成品尺寸稳定且压力分布符合设计预期。后整理环节根据个性化需求自动匹配整理方案与工艺参数。定型与后整理单元与前端织造单元在统一调度下实现无缝衔接与节拍匹配,通过流程并行化大幅减少中间周转与等待时间,显著提升整体交付效率,同时保障产品的舒适性与功能性指标。

4.3 在线质量检测与闭环修正机制

针对医用产品的高标准要求,系统构建了与设计目标联动的全流程在线质量检测体系,覆盖尺寸精度、弹性回复率、压力分布、表面质量及功能指标等关键项目。检测数据实时反馈至中央控制系统,一旦实测结果与设计目标出现偏差,系统可自动识别误差来源,并对设计或工艺参数进行动态微调,形成“检测-反馈-修正”的闭环控制机制。该机制有效消除了生产过程中的不确定因素,持续保证定制产品的一致性与可靠性,满足医疗级质量管控需求。

5 快速设计与制造全流程系统集成

5.1 分层架构与双链协同机制

系统集成以需求快速响应、设计精准生成、制造高效稳定及质量全程可控为总体目标,构建包含感知、数据、设计、制造、检测与应用六层的分层架构。各层通过统一信息流与控制流实现深度协同:感知层采集人体数据与需求,数据层进行标准化管理,设计层生成个性化方案,制造层执行柔性生产,检测层实施在线评价,应用层统筹订单与反馈。核心在于数据链与控制链的闭环联动,数据链确保从测量到交付的信息连续一致,控制链则以中央调度单元为核心,统一管理订单、设备与资源。两者互为支撑,支持数据采集与原料准备、设计与设备预热等环节的并行作业,大幅缩短交付周期并实现全流程自动化。

5.2 流程重组与快速响应策略

为实现快速定制,系统对传统串行流程进行重构,通过模块化与参数化策略将可并行环节同步化、冗余环节精简化及人工环节自动化。形成从订单接收、三维建模、参数化设计、工艺生成到数字化织造、柔性定型、在线检测及出库的一体化高效流程。同类订单可共用基础模型框架,仅调整关键参数即可快速生成新产品。同时,系统内置异常处理机制,面对设备故障、原料波动或质量偏差时,能自动切换备用路径或动态调整

参数,避免流程中断,确保对小批量、多品种定制需求的敏捷响应。

5.3 可靠性保障与医用合规体系

鉴于医用产品的特殊性,系统构建了严格的可靠性与合规性保障体系。建立全生命周期追溯机制,每一双定制产品均可反向追溯至原始测量数据、设计参数、工艺设定、设备状态及检测结果,满足医疗质量管理要求。系统采用冗余设计与自诊断功能,关键单元具备故障预警与自动保护能力,降低生产中断风险。在个性化设计过程中,始终将生物相容性与安全性置于首位,确保所有材料、压力分布及约束强度符合医疗安全标准,防止对人体造成不良影响,实现技术先进性与医疗安全性的统一。

6 理论性案例与系统应用潜力分析

6.1 个性化定制系统理论案例设计

为验证系统集成的合理性与可行性,构建两类典型理论性案例,不涉及具体数据与统计分析,仅从逻辑推演层面验证流程闭环与功能匹配。

第一类为术后康复患者个性化压力袜定制。系统通过肢体数据采集构建三维模型,根据术后病理等级生成针对性压力梯度,结合关节活动需求设计局部弹性与防卷边结构,自动输出织造与定型参数,经由数字化制造单元完成生产与在线检测,最终输出形态贴合、压力精准、舒适安全的定制产品。整个过程无需人工转换数据与反复调试,实现快速交付。

第二类为长期穿戴预防型个性化压力袜定制。针对久坐人群与肢体不对称人群,系统根据日常穿戴需求优化舒适性与透气性,根据不对称形态自动调整左右袜体结构,实现压力均衡与穿着稳定,同时满足抑菌、耐洗涤与长期使用要求。系统可快速生成多套方案供选择,并支持迭代优化。

6.2 系统应用潜力与推广价值

从理论推演结果看,面向个性化定制的医用压力袜快速设

计与制造系统集成,能够有效解决传统模式下精准度不足、周期长、成本高、一致性差、协同弱等问题。系统可广泛应用于医院康复科、血管外科、老年护理、健康管理机构、专业医用纺织品企业与高端定制服务平台。

在临床层面,系统能够提升治疗效果与患者依从性,减少不适与并发症风险。在产业层面,系统推动医用纺织从标准化批量生产向个性化数字化制造升级,提升企业响应速度与市场竞争力。在技术层面,系统形成可迁移的集成框架,可为其他医用纺织定制产品提供理论参考。

7 结论

本文以纺织工程等为基础,经系统理论分析与逻辑推演,开展面向个性化定制的医用压力袜快速设计与制造系统集成研究,围绕六个核心维度构建全流程一体化理论体系,得出结论如下:

个性化定制医用压力袜核心需求由多种差异与偏好决定,传统生产制造难以匹配响应,需靠全流程系统集成突破瓶颈。人体肢体数据感知与三维建模是基础,统一数据标准与接口规范是设计制造无缝衔接前提。

个性化快速设计以生物力学压力梯度为核心,用参数化驱动模型协同生成多方面特性,保证治疗效果和穿着体验。数字化制造以多种技术为主体,实现设计到生产的直接映射,支持小批量高效生产。

快速设计与制造系统集成采用分层架构与闭环模式,通过多方面协同优化,实现全流程自动化、快速化与稳定化。案例推演显示该方案能提升定制精度等,有理论价值与推广潜力。

本文研究基于纯理论分析与推演,未依赖量化数据与试验统计,为医用纺织智能制造提供系统化理论框架。未来可在此基础上开展多方面研究,持续提升系统水平,推动医用纺织品更好发展。

参考文献:

- [1] 王雅倩,万爱兰,曾登,等. 形状记忆氨纶/锦纶包覆纱的制备及其压力袜性能[J]. 纺织学报,2023,44(10):53-59.
- [2] 陈玉杰,潘力. 压力袜在医疗领域的应用现状与发展趋势[J]. 纺织科技进展,2025,47(1):17-21.
- [3] 孙毅仁,张爱萍,杨皓. 新型压力袜关键技术研究[C]//2018年全国针织染整前处理染色新技术研讨会论文集. 2018:457-468.
- [4] 王菡珠,王天,程凌,等. 新型经编袜类产品的编织方法[J]. 化纤与纺织技术,2025,54(6):70-72.
- [5] 张旭东,陈鑫,朱耀麟,等. 基于物联网技术的智能袜机控制系统设计[J]. 工业控制计算机,2023,36(4):24-26.