

医用压力袜的洗涤耐久性与压力保持性能衰退机制研究

朱凯军

浙江迈兹袜业科技有限公司 浙江金华 321000

【摘要】医用压力袜的压力保持性与洗涤耐久性直接决定临床疗效与患者依从性。针对长期穿戴洗涤引发的弹性衰退、压力衰减及变形问题，本文基于纺织材料学、纤维力学等理论，系统解析其性能衰退机制。研究涵盖六大维度：结构特性与核心要求、洗涤物理化学作用、纤维材料衰退规律、组织结构演变影响、多因素耦合机制及耐久性提升路径。通过逐层剖析材料、结构与工艺的协同关系，揭示压力衰退的内在逻辑与本质原因，提出兼顾耐久性与稳定性的优化策略。研究成果旨在丰富医用纺织耐久性理论，完善设计规范，为延长产品寿命、保障治疗效果及降低医疗成本提供理论支撑，推动医用纺织品向高性能、高稳定性方向发展。

【关键词】医用压力袜；洗涤耐久性；压力保持性能；衰退机制；纤维弹性；组织结构；纺织工艺

Research on Washing Durability and Pressure Retention Degradation Mechanisms of Medical Pressure Socks by

Zhu Kaijun

Zhejiang Meizhi Sock Industry Technology Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang 321000

【Abstract】The pressure retention and washing durability of medical pressure socks directly determine clinical efficacy and patient compliance. Addressing issues such as elastic degradation, pressure loss, and deformation caused by prolonged wear and washing, this study systematically analyzes the performance degradation mechanisms based on textile material science and fiber mechanics theories. The research covers six dimensions: structural characteristics and core requirements, physicochemical effects of washing, fiber material degradation patterns, impact of tissue structure evolution, multi-factor coupling mechanisms, and durability enhancement pathways. Through layered analysis of material-structure-process synergies, the study reveals the intrinsic logic and root causes of pressure retention degradation, proposing optimization strategies that balance durability and stability. The findings aim to enrich medical textile durability theories, refine design standards, provide theoretical support for extending product lifespan, ensuring therapeutic outcomes, and reducing medical costs, while driving the development of high-performance and highly stable medical textiles.

【Key words】medical compression stockings; wash durability; pressure retention performance; degradation mechanism; fiber elasticity; tissue structure; textile technology

引言

随着医疗健康服务精准化转型，医用压力袜应用场景拓展至术后康复、静脉曲张及老年护理等领域。其核心功能是通过梯度压力促进血液回流，压力保持性能稳定性决定临床疗效。与普通纺织品不同，医用压力袜长期穿戴、频繁洗涤，机械摩擦、化学侵蚀及热作用易致弹性衰退、压力衰减和尺寸变形，破坏压力分布合理性，降低治疗效果。当前研发多关注初始精度与舒适性，对洗涤耐久性关注不足，传统产品洗涤后常出现压力超标衰减、袜体松弛等问题，增加患者成本，制约临床推广。洗涤耐久性与压力衰退是复杂物理化学过程，水洗中多因素耦合会导致纤维降解等。现有研究多局限于单一因素分析，缺乏系统性解析，难以揭示衰退本质规律。本文立足纺织材料学与医用工艺学交叉视角，以理论分析与逻辑推演构建洗涤中压力保持性能衰退的理论体系，明确影响耐久性关键因素，解析衰退内在机理与核心路径，提出提升策略，为材料、结构、工艺优化提供依据，推动医用压力袜向高性能、高稳定性、长寿命发展，满足临床与患者

需求。

1 医用压力袜的结构特性与核心性能要求

1.1 结构组成、设计原则与核心指标体系

医用压力袜由袜体主体、袜口、袜尖、袜跟构成，设计遵循临床治疗需求。袜体主体用差异化线圈密度与纱线配比实现梯度压力，袜口用罗纹组织平衡防滑移与防压迫功能，袜尖和袜跟加厚或用特殊组织增强耐用性。设计遵循梯度压力、贴合人体、舒适耐用三大原则。据此构建了含压力保持性能、洗涤耐久性等的核心指标体系，其中压力保持性能和洗涤耐久性相互关联，决定产品疗效稳定性与使用寿命。

1.2 洗涤对性能影响的特征与表现

洗涤对医用压力袜性能的影响有渐进性、不可逆性、综合性特征。渐进性使性能随洗涤次数增加而衰退，不可逆性是纤维微观结构损伤与弹性体老化无法复原，综合性是多因素协同加速破坏。具体表现为压力保持方面梯度分布紊乱、压力值下降，弹性回复方面恢复变慢、袜体松弛，尺寸稳定

性方面伸长、收缩或变形,面料外观方面起毛、起球或纤维断裂。这些现象导致产品丧失临床治疗价值,因此需深入理解洗涤影响机制以提升产品耐久性。

2 医用压力袜洗涤过程中的物理化学作用机制

2.1 洗涤过程中的物理作用及其影响

洗涤中的物理作用主要包括机械力、温度与水质效应。机械力源于设备的搅拌与揉搓,是导致性能衰退的主因。反复的机械拉伸使针织线圈滑移、结构松散,导致袜体尺寸变形;同时破坏纤维表面完整性,引发起毛、断裂,并切断弹性纤维分子链,直接削弱弹性回复与压力保持能力。温度作用关乎热稳定性与老化速度:高温加剧分子链运动,破坏结晶结构,加速弹性体硬化脆化;低温则降低洗涤剂活性,致污染物残留。水质方面,硬水中的钙镁离子生成沉淀附着于袜体,阻碍透气并增加摩擦磨损;酸碱度失衡则破坏纤维保护层,加速降解与弹性体失稳。

2.2 洗涤过程中的化学作用及其影响

化学作用涵盖洗涤剂侵蚀、氧化与水解。洗涤剂中的表面活性剂在去污同时侵蚀纤维:阴离子型破坏油脂层致纤维吸水强度降,阳离子型致纤维收缩变硬;浓度过高加剧侵蚀,过低则残留物加速老化。氧化作用源自氧气或氧化剂,通过断裂分子链导致纤维脆化、强度丧失,特别是弹性纤维失去回复力,引发压力衰减。水解作用针对含酯键或酰胺键的纤维,在酸碱催化及高温促进下破坏分子链,导致强度下降、弹性变差及尺寸变形。这些化学变化从根本上破坏了纤维的结构稳定性。

2.3 物理化学协同作用机制

物理与化学作用并非独立,而是相互协同、倍增损害。机械力造成的纤维表面微裂纹为水、氧及洗涤剂提供了渗透通道,加速内部化学侵蚀;反之,化学作用导致的纤维强度降低使其更易受机械力破坏而断裂。温度不仅加剧机械损伤,更显著提升化学反应速率,形成“热-力-化”耦合加速衰退。水质失衡既增加物理摩擦,又改变化学活性。这种协同机制通过双重破坏纤维的结构完整性与化学稳定性,导致组织结构松散、弹性骤降及压力不可逆衰减,最终致使产品丧失洗涤耐久性与临床价值。

3 医用压力袜纤维材料层面的性能衰退规律

3.1 核心材料特性与功能定位

医用压力袜的性能依赖于弹性纤维、纺织纤维及功能性纤维的协同作用。弹性纤维作为核心动力源,提供高回弹与耐疲劳性以维持梯度压力;纺织纤维(棉、涤纶、锦纶)构成袜体骨架,其中锦纶因兼具优异弹性与耐磨性成为理想主体,棉纤维虽舒适但易变形,涤纶高强耐磨却透气性稍逊;功能性纤维则赋予抗菌等附加价值。合理的材料组合是实现性能互补、延缓整体衰退的基础。

3.2 弹性纤维老化与纺织纤维降解机制

纤维衰退主要源于物理磨损与化学侵蚀的协同作用。弹性纤维的失效是压力丧失的主因:洗涤中的机械疲劳致分子链断裂,高温加速热老化使交联变脆,氧化与化学侵蚀破坏分子结构,导致回复率随洗涤次数渐进式下降,尤以高负荷的踝部最为显著。纺织纤维方面,棉纤维易受水解与机械力影响导致纤维素链断裂、强度骤降及收缩变形;涤纶与锦纶虽耐久性较强,但长期摩擦与高温氧化仍致表面磨损及分子链断裂,削弱袜体结构稳定性。

3.3 混合对比对衰退速率的调控影响

纤维混合配比直接决定产品的寿命与性能稳定性。弹性纤维比例过高虽提升初始压力,却加速整体老化;比例过低则导致袜体松弛、压力不足。纺织纤维的搭配策略同样关键:棉涤混纺虽兼顾舒适与耐磨,但棉的收缩易引发尺寸失稳;锦涤或锦氨混纺凭借优异的弹性保持率与耐磨性,能显著延缓衰退进程。此外,混合均匀性至关重要,分布不均会导致局部应力集中,引发过早磨损或弹性失效,进而破坏整体梯度压力分布的稳定性。

4 医用压力袜组织结构演变对压力保持性能的影响

4.1 医用压力袜的针织组织结构特征

医用压力袜主要采用针织结构,利用其优异的弹性与贴合性实现梯度压力。常用组织包括:平针组织,结构简单、透气性好,常用于袜体主体,但易发生线圈滑移致尺寸伸长;罗纹组织,双向排列、回弹力强,多用于袜口以防滑移,但反复洗涤易松散;集圈组织,结构紧密耐磨,适用于袜尖与袜跟,但透气性较差且易起毛断裂。设计需根据部位功能需求选择特定组织,并通过密度差异构建梯度压力。

4.2 洗涤过程中组织结构的演变规律

反复洗涤导致组织结构发生不可逆演变,主要表现为线圈滑移、变形、断裂及整体松散。机械力是主因,致使线圈相对滑移,引起袜体横向变宽、纵向伸长,贴合度下降。高温与强机械力加剧线圈形态畸变,由规则几何形变为不规则状,曲率半径改变,削弱回弹能力。在磨损区或纤维弱化处,线圈易断裂,引发破洞与起毛。这些现象综合导致组织松散、抱合力丧失,随洗涤次数增加,袜体逐渐松弛,无法维持预设压力梯度。

4.3 组织结构演变对压力保持性能的影响机制

组织结构稳定性直接决定压力保持性能。首先,线圈滑移与变形降低弹性回复率,致袜体拉伸后无法复原,压力传递效率下降,踝部等高压区衰减尤甚。其次,组织松散破坏贴合性,使袜体与肢体间产生间隙,导致压力分布不均,梯度逻辑失效。再次,线圈断裂造成局部压力缺失,并迫使周边区域承担超额负荷,加速整体衰退。不同组织受影响程度各异:平针组织滑移显著,对压力影响最大;罗纹组织演变较慢;集圈组织则易因断裂影响局部耐久性。此外,组织结构不均匀会加剧局部快速演变,导致整体压力分布紊乱,最终丧失临床疗效。

5 多因素耦合作用下的压力保持性能衰退机制

5.1 核心影响因素的耦合关系

医用压力袜的压力衰退是纤维材料、组织结构、洗涤工艺及环境因素多因素耦合的结果。纤维材料是内因，其老化降解直接导致性能下降；组织结构是载体，其演变放大材料缺陷；洗涤工艺是外驱，通过物理化学作用加速衰退；环境因素则间接调节衰退速率。各因素间存在紧密的协同与交互耦合：纤维衰退致组织松散，松散组织又加剧纤维磨损，形成恶性循环。同时，材料与结构的初始状态决定了对洗涤工艺的敏感度，强度低或结构松散的袜体在同等洗涤条件下衰退更快，反之亦然。

5.2 多因素耦合作用下的衰退路径

多因素耦合下，衰退遵循两条交织的核心路径。一是“材料主导路径”：洗涤中的理化作用致弹性纤维老化、纺织纤维降解，直接削弱回弹力引发压力衰减，并降低组织稳定性加速结构演变。二是“结构主导路径”：机械力致线圈滑移、变形断裂，导致尺寸失稳与贴合度下降，降低压力传递效率，进而加剧纤维磨损。两条路径互为因果、相互促进：线圈滑移增加纤维负荷加速其断裂，纤维断裂又进一步瓦解组织结构。这种双重反馈机制使得性能衰退呈加速趋势，最终导致不可逆的功能丧失。

5.3 理论性案例分析

通过两类理论案例验证上述机制。案例一：棉纤维耐水解差且易磨损，氨纶易热老化，平针组织稳定性弱。洗涤中，棉纤维快速降解、氨纶弹性骤降，加之平针线圈易滑移，多因素耦合导致袜体迅速松弛、踝部压力显著衰减，短期内即丧失治疗价值。案例二：锦纶耐磨耐化性强，配合高稳定性的罗纹组织，虽同样受洗涤因素影响，但材料抗性与结构优势显著延缓了衰退进程。其压力衰减主要源于长期的氨纶疲劳与局部磨损，整体寿命远优于案例一。

综上，多因素耦合是压力衰退的核心机理。合理选材、优化结构设计及规范洗涤工艺，可打破恶性循环，有效延缓衰退，保障产品的临床长效性。

6 医用压力袜洗涤耐久性与压力保持性能提升路径

6.1 材料优选与结构设计的源头强化

提升耐久性的核心在于从源头优化材料体系与组织结

构。在材料层面，应首选耐老化、高回弹的氨纶或聚酯酯作为弹性源，主体纤维宜采用耐磨、尺寸稳定的锦纶或涤纶；若需透气可适量混纺棉，但须严控比例以防变形。同时，通过添加抗老化剂、抗氧化剂改性或表面涂层处理，从分子层面增强纤维抗性，并科学平衡弹性和纺织纤维配比以兼顾初始精度与长效保持。在结构层面，实施分区差异化设计：袜体结合平针与集圈组织，袜口采用高回弹罗纹防滑，易磨损部位采用高密度集圈增强耐用性。配合梯度线圈密度策略及线圈参数优化，增强抱合力，从物理结构上抑制洗涤引发的线圈滑移与断裂。

6.2 洗涤规范与后整理工艺的过程管控

延缓衰退的关键在于规范外部洗涤条件并辅以功能性后整理。洗涤工艺上，严格推行“温和手洗或袋装机洗”，控制水温在 30–40℃，选用中性洗涤剂并禁用漂白氧化剂，避免强力机械损伤与化学侵蚀；后处理时忌拧干与高温烘干，坚持阴晾通风晾干，防止纤维脆化与热老化。后整理工艺上，通过预缩整理消除内应力以提升尺寸稳定性，利用定型整理固定组织结构减少滑移；施加抗老化整理形成保护膜延缓氧化，采用耐磨整理减少起毛起球。实施中需精准匹配材料特性并确保整理剂的医用生物相容性，从而全方位构建从使用维护到成品增强的双重防护体系，显著提升产品的临床寿命与性能稳定性。

结论

本文基于纺织材料学等理论，研究医用压力袜洗涤耐久性与压力保持性能衰退机制。围绕六大维度构建理论体系，结论如下：首先，医用压力袜以梯度压力和舒适耐用为核心，临床价值取决于压力保持与洗涤耐久性，洗涤中物理与化学作用协同破坏纤维与组织结构完整性。其次，纤维材料衰退是性能下降内因，弹性纤维老化致压力衰减，纺织纤维降解削弱结构稳定性，混合配比影响衰退速度，针织组织洗涤中变形加剧压力失效。再次，性能衰退是多因素耦合结果，“材料衰退”与“组织演变”相互影响形成恶性循环，优化选材、结构设计及洗涤工艺可延缓衰退。最后，提升路径包括优选纤维并优化配比、设计差异化组织结构、规范洗涤条件、实施后整理，多维协同可提升产品寿命与疗效稳定性。本研究提供理论框架，未来应结合相关工艺开展试验验证，推动医用纺织品发展以满足临床需求。

参考文献

- [1]王永荣, 秦洁云, 王敏, 等. 压力医疗袜的压力性能测试与评价[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2015, 41(1): 48–52.
- [2]周爱晖, 林旭, 陈玲, 等. 防紫外纺织品耐久性及耐洗涤性能研究[J]. 中国纤检, 2023(7): 77–81.
- [3]邵明军, 蹇玉兰, 唐唯, 等. 涤纶织物表面耐久超疏水涂层制备及其水油分离性能[J]. 纺织学报, 2024, 45(4): 142–150.
- [4]杨可, 宋婧, 王朝晖. 梯度压力袜发展现状与应用[J]. 产业用纺织品, 2019, 37(5): 1–5, 11.
- [5]旋湘桃, 张辉, 车秋玲, 等. 自清洁织物的研究进展[J]. 纺织学报, 2025, 46(1): 227–237.