

混纺面料织造工艺参数优化与力学性能提升研究

张晟

金华雅帅纺织有限公司 321025

【摘要】本文针对混纺面料织造工艺参数设置与最终力学性能关联性不明确的问题,开展系统性研究。通过理论分析与实验验证,揭示关键织造参数如经纬纱张力、后梁高度、开口时间及上机箱幅对面料拉伸、撕裂、顶破等力学性能的影响规律。研究采用多因素正交试验设计,以涤纶/棉混纺纱为原料进行不同工艺组合的试织,并对样本进行标准化力学测试与数据分析,建立起织造参数到性能指标的映射关系。最终提出了以综合力学性能最优为目标的织造工艺参数优化区间与协同设置原则,为通过织造工艺精准调控提升混纺面料力学性能提供了理论依据与工艺指导。

【关键词】混纺面料; 织造工艺; 参数优化; 力学性能; 正交试验

Research on Optimization of Weaving Process Parameters and Mechanical Property Enhancement for Blended Fabrics

Zhang Sheng

Jin Hua Yashuai Textile Co., Ltd. 321025

【Abstract】This study systematically investigates the correlation between blending fabric weaving process parameters and final mechanical properties. Through theoretical analysis and experimental validation, we elucidate the impact of key weaving parameters—including warp/spindle tension, beam height, opening time, and reed width—on fabric tensile strength, tear resistance, and puncture performance. Utilizing a multi-factor orthogonal experimental design, we conducted trial weaving with polyester/cotton blended yarns under various process combinations, followed by standardized mechanical testing and data analysis to establish parameter-performance correlations. The study proposes an optimized parameter range and synergistic configuration principles aimed at achieving optimal comprehensive mechanical properties, providing theoretical foundations and technical guidance for precision process control to enhance blended fabric mechanical performance.

【Key words】blended fabric; weaving process; parameter optimization; mechanical properties; orthogonal experiment

一、引言

混纺面料能够综合多种纤维的优良特性,实现性能上的优势互补,已成为市场主流产品。其最终服用性能不仅取决于纤维属性与纱线结构,更受到织造工艺过程的深刻影响。织造是将纱线通过经纬交织构成稳定织物的关键成型步骤,此过程中一系列工艺参数的设置,直接决定了纱线在织物中的空间形态、交织紧密度及内部应力分布,进而从根本上影响织物的强度、延伸性、抗撕裂性和耐久性力学性能。然而,在实际生产与开发中,工艺参数的设定往往依赖于经验,缺乏系统性理论指导,难以精准预测和调控最终产品的力学行为。

目前对于织物性能的研究,较多集中于纤维改性、纱线设计或后整理环节,对于织造这一核心工序,其工艺参数与混纺面料综合力学性能之间的定量化、系统化关联研究尚不够深入。特别是混纺纱线的结构、摩擦系数、伸长特性等与纯纺纱线存在差异,其在织造过程中的受力与变形行为更为复杂,使得工艺参数的适配性问题更加突出。不恰当的参数组合不仅影响织造效率,更会在织物内部形成潜在应力缺陷

或结构不均匀性,这些微观缺陷将成为影响面料使用寿命的薄弱环节。

因此,从织造工序入手开展工艺参数优化研究,对于提升混纺面料内在品质具有根本性意义。本研究采用系统工程的研究思路,将织造过程视为一个多输入、多输出的系统。通过设计科学实验,系统改变关键输入参数,观测并量化分析输出性能的变化,旨在解析各参数的主次效应及其交互作用,构建基于目标性能导向的工艺参数优化模型。这一研究有助于深化对织造成形机理的理解,为高力学性能混纺面料的精准开发提供直接技术支持。

二、织造工艺参数影响力学性能的理论基础

织物的力学性能源于其复杂的结构特征,而这一结构特征是在织造过程中通过经纬纱线的交织与固结最终定型的。要理解织造参数如何影响力学性能,必须剖析工艺参数如何作用于纱线,并进而改变织物的结构要素。这一过程涉及纱线的力学行为、交织几何学以及结构力学等多个层面的相互作用。

经纬纱张力是织造过程中最核心的参数之一。经纱张力的影响直接影响纱线在织物中的屈曲波高。较高的经纱张力使经纱在织物中较为挺直，屈曲波高较小，而纬纱的屈曲则相对增大。这种结构变化直接映射到力学性能上：经向拉伸强力通常会随着经纱张力的适度增加而提高，因为更直的经纱能更有效地承担轴向拉力；但过高的张力可能导致经纱在织造中过度伸长甚至产生塑性变形，损伤其自身强度，反而使最终织物强力下降。对于混纺纱，由于其各组分纤维的伸长特性不同，张力的设置还需考虑纱线整体的应力-应变行为。

开口时间与织机后梁高度的设置，共同决定了经纱在开口过程中的运动轨迹和张力变化。开口时间的早晚，影响了梭口开启的大小、清晰度以及经纱受摩擦的长度和时间。后梁高度的调整，则能改变上下层经纱之间的张力差异，从而调节经纬纱在织物中的交织状态。这些参数通过改变纱线在成型瞬间的受力状态，间接影响了纱线在织物中的有效承载长度和交织点处的摩擦抱合作用，进而影响织物的撕裂强度和顶破强度。撕裂性能尤其依赖于纱线在织物中的可移动性，而顶破性能则考验织物结构在多方面的协调变形能力。

上机箱幅与纬密是决定织物紧密度的关键参数。上机箱幅决定了经纱在门幅方向上的排列密度，而纬密则决定了单位长度内的纬纱根数。较高的覆盖系数意味着经纬纱交织更频繁，纱线间的摩擦点更多，这通常会提升织物的拉伸和顶破强度。然而，过高的紧密度会限制纱线的自由移动，使织物变得僵硬，反而可能降低其撕裂强度。对于混纺面料，理想的紧密度需要兼顾纱线本身的刚度与滑爽度，在强度与韧性之间取得平衡。织造速度虽然在本研究中作为固定变量，但其通过影响纱线的动态张力和摩擦状态，在实际生产中也是需要关注的因素。

三、工艺参数优化实验设计与方法

为系统探究织造工艺参数对混纺面料力学性能的影响并寻求优化组合，本研究设计并实施了基于正交试验法的多因素实验方案。该方法能够在有限实验次数内，高效考察多个参数的影响并分析其交互作用，特别适合于多因素多水平的工艺优化研究。

首先确定实验的研究因素与水平。选取五个对织物结构形成有显著影响且可独立调控的关键织造参数作为研究因素，包括经纱张力、纬纱张力、后梁高度、开口时间以及上机箱幅。为每个因素设定三个具有代表性的水平值，水平值的范围设定参考了该型号织机对涤纶混纺纱的常规工艺区间，并依据预备试验适当拓展，以覆盖潜在的优化区域。实验原料选用同一批次的65/35涤纶混纺纱线，其线密度、捻度等指标严格一致，以最大程度保证原料的初始均一性，避免引入额外变量。

选用L18(3⁷)型正交表安排实验，该表共需进行18次实验，能够满足分析主效应和部分交互效应的需求。按照正交表的设计，为每一轮实验配置一组特定的工艺参数组合。在配备电子送经、电子卷取的标准剑杆织机上进行上机织造，确保工艺参数控制精度。每轮实验织造长度不少于五米的坯布，以确保能从中部稳定区域裁取所有必要的测试样本，避开布头布尾的不稳定区。所有坯布在相同的温湿度条件下进行至少24小时的调湿平衡，这是获得可比力学测试数据的重要前提。

确定力学性能测试项目，包括经纬向断裂强度和断裂伸长率、撕裂强度、顶破强度以及耐磨性。测试均依据国家或国际通用标准方法进行。每一项测试都从对应编号的坯布样本上按标准规定裁取至少五个试样，在标准恒温恒湿实验室环境下，使用经定期校准的电子织物强力机、顶破仪和耐磨仪等设备进行测试。每个性能指标最终取五个有效试样的算术平均值，并计算其变异系数以评估数据的离散程度。

采用直观分析与方差分析相结合的方法处理数据。直观分析通过计算各因素在不同水平下对应性能指标的平均值，并比较其极差，可以快速、直观地判断各因素对不同性能指标影响的趋势和主次顺序。而方差分析则能从统计学意义上更严谨地检验各因素影响的显著性水平，计算出各因素及交互作用对性能变异的贡献率，从而区分出影响的关键因子与次要因子。通过这种定量化的分析，能够超越经验性描述，为工艺优化提供坚实的统计推断基础。

四、实验结果分析与讨论

通过对18组实验样本的系统测试与数据分析，获得了织造工艺参数与混纺面料力学性能之间关联性的具体信息。

拉伸性能的分析表明，经纱张力与上机箱幅是影响经向拉伸强力的两个最显著因素。在一定范围内，经向断裂强力随着经纱张力的增加和上机箱幅的减小而呈现上升趋势。然而，当经纱张力超过某一阈值后，强力上升曲线趋于平缓甚至略有下降。经向断裂伸长率则与经纱张力呈明显的负相关。对于纬向拉伸性能，纬纱张力的影响规律与经纱类似，但其显著性低于经密的影响。一个值得注意的交互作用出现在经纱张力与后梁高度之间，适中的后梁高度配合优化的经纱张力，能获得更均衡的经纬向强力比。

在撕裂与顶破性能方面，结果揭示了复杂的参数耦合关系。撕裂强度并非总是随织物紧密度增加而增加。在经密或纬密过高的情况下，撕裂强度反而可能出现下降。最优的撕裂性能往往出现在中等偏上的紧密度区域，并且与较低的纱线张力设置相关联。顶破强度则表现出对不同方向性能的综合要求，影响其的显著因素最多，几乎涵盖了所有研究的工艺参数。其中，经纬密度的均衡增加以及适中的纱线张力配置，通常有利于获得较高的顶破强度。

耐磨性能的测试结果反映了织物表面结构耐久性的特

点。分析表明,较高的经纱张力与较早的开口时间组合,有助于形成纹路清晰、纱线屈曲波高较小的布面,这提升了初期耐磨性。然而,这种配置若导致织物结构过于刚硬,在长期摩擦下可能因缺乏缓冲而加速疲劳。相比之下,经纬纱配置较为平衡、结构稍显松柔的织物,其耐磨曲线可能更为平缓。

综合所有性能指标进行多目标考量,可以发现单一工艺参数设置难以使所有力学性能同时达到最优。例如,追求最高的拉伸强力可能需要较高的张力和紧密度,但这可能会牺牲撕裂强力和手感柔软度。因此,工艺优化的核心在于根据面料最终用途确定性能优先级,然后寻找能够达到最佳平衡点的参数组合。通过综合平衡分析法,可以筛选出几组在多项性能上均表现优良的工艺方案,这些方案通常具有纱线张力控制在合理上限之内、经纬密度设置匹配得当等共同特征。

五、基于目标性能的工艺参数优化策略

基于系统的实验研究与分析结果,可以提炼出具有普适指导意义的混纺面料织造工艺参数优化策略。该策略的核心思想是从“经验设定”转向“性能驱动”,即根据目标产品所要求的核心力学性能特征,反向推导并协同优化织造工艺参数的配置。

对于以高强度、高模量为主要需求的面料,优化策略应侧重于承载效率的最大化。建议采用适度偏高的经纱与纬纱张力设定,以确保纱线在织物中充分伸直。同时,经纬向密度应设置在较高水平,以增加单位面积内的承载纱线根数与交织点数量。此时,后梁高度可适当调高以利于打紧纬纱,开口时间则以保证梭口清晰为原则。需要关注的是,此策略下必须选用强度富余的纱线,并密切监控织造过程中的断头率。

对于追求优异抗撕裂性、耐疲劳性及一定柔韧性的面料,优化策略则需着眼于织物结构的能量吸收与应力重分布能力。应适当放松对纱线张力的控制,采用中低水平的张力设置,允许纱线在织物中保持适当的屈曲波高和活动自由度。经纬密度的设计不宜达到极限,应保留一定的结构蓬松度。该策略的关键在于把握“松紧度”的平衡点:过松会导

致结构稀松且基本强度不足;过紧则会抑制纱线滑移,回归脆性结构。

在大多数通用性混纺面料开发中,往往需要平衡多种性能。此时可采用“核心性能优先,兼顾综合平衡”的策略。首先明确面料的一到两项最关键性能指标,根据规律优先确定影响该核心性能的主要参数的优化区间。然后,在此区间内调节其他次要参数,以改善或维持其他必要性能在可接受范围内。例如,若核心需求是良好的综合耐用性,那么将经纬纱张力同步设定于中等水平,选择中等偏上的经纬密度,往往能获得稳健可靠的性能表现。

无论采取何种具体策略,都必须将工艺优化置于完整的质量控制体系中。优化后的参数组合需要在放大生产中进行验证,关注其织造效率的稳定性和坯布质量的均一性。此外,织造工艺的优化需与上游的纱线设计和下游的后整理工艺联动考虑,通过全流程协同设计将织造参数优化的效益最大化。

六、结论

本研究通过系统实验设计与分析,探讨了织造工艺参数对混纺面料关键力学性能的影响机理与规律。研究证实,经纬纱张力、上机箱幅、后梁高度等参数是调控面料拉伸、撕裂、顶破及耐磨性能的显著因素,且这些因素之间存在不同程度的交互作用。工艺参数通过改变纱线在织物中的空间构型、应力状态和交织紧密程度,综合作用于织物的整体力学行为。

基于实验结果提炼出的性能导向型优化策略,为混纺面料的开发提供了从设计目标到工艺实现的清晰路径。针对高强度、高韧性或平衡耐用等不同需求,可以有的放矢地调整工艺参数组合,实现对面料力学性能的针对性提升。这改变了传统依赖经验调校的模式,提升了产品开发的精准性。

本研究工作表明,织造工序工艺参数的系统优化是挖掘混纺面料性能潜力、提升其内在品质的关键途径。未来的研究可以进一步拓展至更多元的混纺体系与更复杂的织物组织,并探索将工艺参数、结构参数与最终性能之间关系模型化的方法,结合智能控制技术,推动纺织生产向更加智能化、高性能化的方向发展。

参考文献

- [1]樊吉,徐蔚,郑亚雯,等.纺织品抗皱整理及其性能测定实验设计与改进[J].实验室科学,2021,24(06):21-24.
- [2]杨康,刘岩.纺织品绿色染整工艺研究[J].轻工标准与质量,2024,(06):117-120.DOI:10.19541/j.cnki.issn1004-4108.2024.06.026.
- [3]王晓娜.生物酶在纺织染整中的应用[J].山东工业技术,2016,(21):47.DOI:10.16640/j.cnki.37-1222/t.2016.21.040.
- [4]严浩洋,杨亚.混纺比对亚麻/棉混纺面料外观保持性的影响[J].辽宁丝绸,2022,(04):21+74.