

羊毛织物低温无盐染色工艺的优化路径

潘阿慧

嘉兴殴丽斯特服饰股份有限公司 浙江嘉兴 314023

【摘要】通过对染色工艺各参数的系统研究和分析,如染色温度、时间、染液 pH 值、助剂种类及用量等,结合羊毛纤维的结构与性能特点,明确各因素对染色效果的影响规律,从而筛选出最佳的工艺参数组合,开发出一套高效、环保、经济的羊毛织物低温无盐染色工艺。该工艺不仅要实现低温染色,有效降低对羊毛纤维的损伤,提高羊毛织物的强力、手感和色泽鲜艳度等品质指标,还要达到无盐染色的目标,减少染色过程中盐类助剂的使用,降低环境污染,同时保证染色产品具有良好的染色牢度、匀染性和重现性,满足市场对高品质羊毛织物的需求。

【关键词】羊毛织物;无盐;染色工艺;优化

【中图分类号】TS193.5

Optimization path of low temperature salt-free dyeing process for wool fabric

Pan Ahui

Jiaxing Jia Lister Clothing Co., LTD. Jiaxing, Zhejiang 314023

【Abstract】Through systematic research and analysis of various parameters in dyeing processes, such as dyeing temperature, time, pH value of the dye solution, types and amounts of auxiliaries, combined with the structure and performance characteristics of wool fibers, this study clarifies the impact patterns of each factor on dyeing results. Consequently, it aims to screen out the optimal combination of process parameters and develop an efficient, environmentally friendly, and economical low-temperature salt-free dyeing process for wool fabrics. This process not only achieves low-temperature dyeing but also effectively reduces damage to wool fibers, enhancing the strength, hand feel, and color brightness of wool fabrics. Additionally, it aims to achieve salt-free dyeing, reducing the use of salt-based auxiliaries during the dyeing process to minimize environmental pollution. At the same time, it ensures that the dyed products have good dye fastness, uniformity, and reproducibility, meeting the market demand for high-quality wool fabrics.

【Key words】wool fabric; salt-free; dyeing process; optimization

低温无盐染色工艺可以大幅度节省能源并减少盐类排放,减少污染,具有可持续发展的意义,将有利于纺织行业由污染向绿色的发展转变。从行业发展趋势来看,本文羊毛织物低温无盐染色工艺优化思路可为我国纺织行业提供新思路、新方法,有利于染色工艺新技术、新产品的研发以及我国纺织工业整体技术的提升和产业结构的调整,以满足市场需求对绿色、高品质羊毛织物的需求,推动羊毛纺织工业的可持续发展。[1]

1 羊毛织物低温无盐染色工艺的理论基础

1.1 羊毛纤维染色原理

一般传统羊毛织物染色工艺都是高温染色,在染色过程中添加大量的盐作为促染剂,染色的机理主要是以下几种。染色时先将染料分子溶解于染料液中,在水溶液中扩散至羊毛纤维表面。羊毛纤维在水溶液中带有负电荷,常用染色时所采用的染料为酸性染料或活性染料等大多数为阴离子型染料,染料的阴离子和纤维表面负电荷产生静电斥力。为了突破这个静电斥力,促进染料上染,就需要大量的盐(如硫酸钠、氯化钠等)。盐中阳离子(如 Na^+ 、 K^+ 等)可与纤维表面的负电荷结合,具有电荷屏蔽作用,降低染料阴离子与

纤维之间的静电斥力,从而达到促进吸附的作用。高温染色时温度升高促进染料分子运动和扩散,提高染色速率与上染率,但是也对羊毛纤维造成一定损伤。[2]

低温无盐染色原理与传统染色原理有较大不同。低温无盐染色通常依靠研发新型低温染色助剂或对羊毛纤维进行改性实现低温染色。新型低温染色助剂可以使羊毛纤维表面张力降低、染料分子扩散速率增加,从而使染料可以在较低温度下被扩散到羊毛纤维内部。如一些染色助剂可以与羊毛纤维表面鳞片层发生作用,使鳞片层结构疏松,从而降低染料扩散阻力。另外,可通过物理或化学方法对羊毛纤维进行改性,如等离子体法改性羊毛纤维表面,酶法对羊毛纤维进行改性,化学接枝等方法,可以改变羊毛纤维的表面物理和化学性质,提高羊毛纤维表面的亲水性和对染料的吸附能力。无盐染色主要靠研发高直接性染料或对羊毛纤维进行改性,增加染料与羊毛纤维间的亲和力实现无盐染色。高直接性染料分子结构设计特殊,使其可以在无盐条件下与羊毛纤维发生较强的相互作用,达到良好的上染效果。对羊毛纤维进行改性,如对羊毛纤维表面改性引入阳离子基团,羊毛纤维表面带有正电荷,可以与阴离子染料发生静电吸引作用,提升羊毛纤维的上染率和固色率,从而省去对染色剂的无机盐助剂使用。

1.2 影响羊毛织物低温无盐染色效果的因素

助剂在羊毛织物低温无盐染色过程中发挥着重要作用,不同类型的助剂对染色效果有着不同程度的影响。

匀染剂是一类能使染料在纤维上扩散得较为均匀的助剂,在羊毛织物低温无盐染色过程中,匀染剂是至关重要的因素。匀染剂发挥匀染作用的机理是多方面的。匀染剂大部分是表面活性剂,能够降低染液表面张力,使染料分子易在纤维表面上散开及渗入纤维。匀染剂可以和染料分子形成络合物,延缓染料上染速率,使染料能均匀地吸附于羊毛纤维上。对于一些具有聚集性的染料,匀染剂的分散作用可以使染料在染液中不会聚集,保持染液染料的均匀分散状态,避免出现因染料聚集而造成的染色不匀现象。选择合适的匀染剂并控制匀染剂用量是保证羊毛织物低温无盐染色匀染性的关键所在。

促染剂主要目的在于加快染料上染速率和提升上染速率,在常规染色工艺中,盐类为常用的促染剂,而低温无盐染色需要其他有效促染方式来替代。含有特殊官能团的有机化合物是新型的促染剂,可直接与羊毛纤维及染料分子发生互斥作用,促使染料的上染。促染剂可以从增加染料分子与纤维间亲合性,或影响纤维表面性质,降低染料扩散阻力的角度促进染料上染速率和上染率。促染剂加入量必须严格控制,若浓度过高可能引发染色不匀或染色牢度不够等。

渗透剂有降低染液张力,提高染液润湿羊毛的能力,有利于染料分子向纤维内扩散的作用。低温无盐染色过程中,羊毛纤维鳞片层、皮质层对染料的渗透有一定阻碍作用,在低温无盐染色过程中加入渗透剂可以改善这个过程。渗透剂可以使纤维的表面鳞片张开,增大纤维孔隙,促进染料分子扩散。渗透剂有利于染料分子克服纤维内部阻力到达纤维的活性点上,提升染色效果。选择渗透力好的渗透剂会大大提升羊毛织物低温无盐染色的效率和品质。

2 羊毛织物低温无盐染色工艺存在的问题

染色固色率是影响羊毛织物色牢度的重要因素,低温无盐染色时染料固着不牢固。活性染料低温固着时,染料上的活性基与羊毛上的氨基、羟基等基团之间的反应速度较低,不易生成稳定共价键结合物。部分染料无盐固着,缺少盐类促进剂的助染作用,染料分子在纤维表面上的吸附量较低,并且吸附不均匀,受到外界的影响很容易脱落从纤维上下来而影响色牢度。

羊毛纤维在低温无盐染色中会受到损伤,对色牢度有一定的影响。低温无盐染色虽然染料与纤维之间的互作用在较小程度上减轻了高温染色对纤维的损伤,但也有些因素会使低温染色过程中纤维受到损伤,例如如果选用的助剂不合适、染色条件不当都可能发生对纤维结构的破坏。其中助剂中的某些成分可使羊毛纤维发生化学作用而使其结构受到破坏,使纤维强力降低。纤维受损会使内部结构变得疏松,更易于染料分子从纤维内部脱落而导致染色色牢度下降。另外纤维受损,也会使纤维表面的形貌发生改变,从而对染料

的吸附固着造成影响,从而进一步导致色牢度下降。

染色工艺参数也影响染料的吸附均匀性。过低的染色温度使染料分子的动能降低,扩散较慢,导致染料在纤维表面吸附和扩散不均。pH、助剂种类和助剂量等因素会影响染料与羊毛纤维之间的相互作用而影响染料的吸附均匀性。染液pH值选择不适宜,可能会导致羊毛纤维的带电状态的改变,从而改变了染料与纤维之间的静电作用,使得染料吸附不均。助剂不当的使用,如匀染剂用量不适宜或者选择不适当,不能将染料分子有效分散,也会造成染料吸附的不均。

染料着色不均匀会引起羊毛织物色花,是染色质量最严重的问题之一,色花是指织物表面颜色不均匀,看上去像斑花一样,直接影响织物美观性和商业价值。生产中出现色花的羊毛织物,不适合消费者选购,造成产品积压,给企业造成经济损失。而色花同样影响织物后加工,如印制印花色花织物,在进行印花时,难以确保印花图案准确和清晰,导致加工难度和成本增大。[3]

色差也是由染料吸附不均匀引起的主要问题。色差是指纺织品同一块或不同批次布料出现颜色差异现象,纺织品生产过程中颜色的一致性是关键,而色料吸附不均匀也会导致布料上不同位置或者不同批次颜色出现差异,不仅影响产品质量与外观效果,还会给纺织企业的生产管理带来麻烦,服装加工过程中不同批次布料出现色差导致服装颜色不一,给企业品牌形象和市场销售带来负面效应。某些对颜色要求非常严格、标准比较苛刻行业如高档服装、家纺等,就对色差这一现象不能容忍,甚至会导致客户投诉或退货行为发生。

3 羊毛织物低温无盐染色工艺优化方法

促染剂能够提高羊毛织物低温无盐染色中的染料上染率和上染速率,弥补无盐低温染色中染料上染困难的不足。在以往的染色工艺中常用的盐类促染剂,在低温无盐染色中无法应用,所以需要研究一种高效新型的促染剂。

高效促染剂的促染机理主要是通过高效促染剂和羊毛表面官能团相互作用改变羊毛表面官能团性质,从而提高羊毛对染料的吸附性能;一些含有阳离子基团的高效促染剂,可以和羊毛表面上的阴离子基团相互吸引,从而形成离子键,提高羊毛与染料之间的静电吸引力,染料和羊毛间的静电吸引,使染料更容易被吸附到羊毛上,进而提高染料的上染初始量,促进上染。

促进剂还可改变染料分子在染液中的状态进而提高上染率。有些促进剂可降低染料分子间的作用力,抑制染料聚集,使染料以单分子存在于染液中。单分子状态的染料活性和扩散力比较高,能够更快地扩散到羊毛纤维内,从而提升上染速率和上染率。有些有表面活性的促进剂可降低染液表面张力,提高染液对羊毛纤维表面润湿性,使染料分子更好更易渗透到羊毛纤维中。

温度控制是羊毛织物低温无盐染色能否成功的关键之一,直接影响染色效果和质量。低温染色对温度的精确度要求较高,因为在低温状态下,温度的小波动就能引起染料分

子活性和扩散速率的显著变化,从而造成染料分子的染料吸附和固色程度变化,进而影响染色均匀性和色牢度的高低。[6]当温度出现较大波动时,部分织物会出现染色过深或过浅的现象,染色的匀染性较差,色牢度也会随之降低。[4]

针对温控精确性可以进行以下处理,硬件方面,采用精度更高的温度传感器,可以考虑选择铂电阻温度传感器,温度传感器具有精度高,灵敏度好、测量范围宽等特点,可以灵敏地采集染液温度的变化,将温度传感器感受到的电信号传送给控制仪;控制器选择性能比较先进的控制器,可以使用 PID 控制器,根据温度传感器反馈出的信号,计算当前的实时温度和设定值之间的偏差,根据偏差的大小计算出应该输出的控制量给加热或者冷却设备,实现对温度的调节控制,通过合理的设置 PID 控制器的相关参数,如比例、积分、微分时间等,可以使得温控系统具有良好的动特性以及稳态性,将温度控制在比较好的设定范围内,反应迅速、控制的精度高。

响应面法是依据数学模型,对试验数据进行拟合后得到的模型反映响应变量与自变量之间的数学模型进行优化,找到合适的工艺参数,确定优化工艺条件的一种方法。将响应面分析法应用在羊毛织物低温无盐染色工艺中,可以更加全面考虑各个因素之间的相互影响以及因素的非线性对染色质量的影响,能够获得更为准确的结果。

在利用响应面分析法优化羊毛织物低温无盐染色工艺时,首先需要确定响应变量和自变量。以染色织物的上染率、匀染性和色牢度等作为响应变量,以染色温度、时间、染液 pH 值、助剂用量等作为自变量。根据试验因素的个数和水平,采用 Box - Behnken 设计方法设计试验方案。该设计方法可以在较少的试验次数下,建立高精度的响应面模型。[5]

根据设计好的试验方案开展染色试验,记录试验结果。用统计软件分析试验数据,拟合响应变量与自变量间的二次多项式回归模型。进行回归模型的方差分析和显著性检验,确定模型可靠性及各因素对响应变量的影响显著性。分析回归模型得到响应面图和等高线图。通过响应面图和等高线图可以看到各因素间的交互影响,以及因素对响应变量影响趋势。从响应面图和等高线图中进行分析,确定最佳工艺参数组合。在最优工艺参数组合确定时,可以依据实际情况将不同响应变量进行加权处理,得到综合性能最佳的工艺变量。

正交试验是一种有效的多因素试验法,可以设计出合理

适当的试验方案,较少的试验次数即可取得较多的数据和信息,确定最佳工艺参数组合。羊毛织物低温无盐染色工艺的因素多,如染色温度、时间、染液 pH 值、助剂用量等。正交试验设计能够系统的研究影响羊毛织物低温无盐染色工艺因素对其染色效果的影响及其各因素间的交互作用,以找出最佳工艺参数组合。

进行正交试验时,首先要确定试验因素及水平。根据羊毛织物低温无盐染色工艺特点,将染液温度(A)、染色时间(B)、染液 pH 值(C)和助剂用量(D)作为试验因素,每组因素均选择 3 个水平,具体水平设置如表所设。

其次,按照正交表 L₉(3⁴),选择该正交表是在 9 次试验中考虑 4 个因素、每个因素 3 个水平,能全面地反映各因素对试验指标的影响。按照正交表安排试验进行染色试验,以染色织物的上染率、匀染性、色牢度等指标为评价标准记录试验结果。

直观分析与方差分析试验结果直观分析为:通过计算各因素在不同水平下试验指标的平均值,以确定各因素对试验指标的影响走势等进行直观分析。方差分析为:进一步确定各个因素对试验指标影响的显著性,以判断各因素对染色效果的影响大小。确定了各因素对染色效果影响大小的主次关系为:染色温度>助剂用量>染色时间>染液 pH 值。其中染色温度对染色效果的影响作用最大,助剂用量的次之,染液 pH 值影响最小,据此分析结果确定最佳的工艺参数组合为:染色温度 80℃、染色时间 60min、染液 pH 值 5、助剂用量 2g/L。在最佳的工艺参数组合下,羊毛织物的染色效果最好,上染率较高、匀染性好、色牢度良好。

4 结语

本文对羊毛织物低温无盐染色工艺开展研究并优化,得到了一系列重要研究成果,实际使用表明效果良好。在匀染性方面,针对羊毛织物低温无盐染色工艺染料在织物上吸附性不佳、均匀度差的问题,通过研制新型环保型匀染剂并优化染色工艺得到了良好效果。在色牢度方面,利用不同染料、助剂搭配工艺进行了染色实验,将染料与羊毛织物结合的能力提升,使染色织物色牢度提高。

参考文献

- [1]孙书航,宋双,王利平.山茶花色素对羊毛织物的染色工艺设计[J].中国纤检,2025,(02):104-107.
- [2]徐成书,李晓念,欧阳磊,等.染色工艺与梳纺助剂对丝光羊毛梳纺性能的影响[J].毛纺科技,2024,52(11):39-44.
- [3]王婧,张欣雨,邱添,等.羊毛纤维低温美拉德环保染色工艺研究[J].毛纺科技,2024,52(08):16-20.
- [4]余雪满.氧化蛋白酶防毡缩整理对羊毛染色性能的影响[J].纺织科技进展,2024,46(04):24-27.
- [5]王娟,王晓,刘晓莲,等.提高羊毛染色小样与大样色光重现性的对策[J].染整技术,2023,45(06):27-30.

作者简介:潘阿慧,出生年月:1987年06月12日,男,汉族,籍贯:浙江省乐清市,学历:大专,研究方向:纺织服装、服饰等产品的研发、生产、制造。