



涤/棉混纺织物在硅基介质中的染色工艺优化

姜楠¹, 裴刘军², 朱磊¹, 顾肖敏², 王际平^{1,2}

(1.浙江理工大学, a.生态染整技术教育部工程研究中心; b.先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室, 杭州 310018;
2.上海工程技术大学纺织化学清洁生产工程研究中心, 上海 201620)

摘要: 采用环境友好型的硅基非水染色介质, 探讨了促染剂、温度、保温时间、带液率、碳酸钠浓度对分散染料上染率、对棉沾色率及对活性染料固色率的影响, 分析了染色后 T/C 织物的各项牢度。结果表明: 当促染剂为 15.00% (o.w.f), 染色温度为 140 °C, 保温时间为 55 min 时, 分散染料染涤可以获得较高的上染率同时对棉有较低的沾色率; 当固色温度为 70 °C, 带液率为 130.00% (o.w.f), 碳酸钠为 3.25% (o.w.f) 时, 活性染料上染率和固色率可达到 100% 和 78.93%; 染色后 T/C 织物的摩擦牢度、皂洗牢度及耐日晒牢度均在 4 级以上。与常规水浴染色相比, T/C 织物在硅基非水介质中的染色不仅提高了染料的上染率和固色率, 而且缩短了染色时间, 对推动绿色染整发展具有现实意义。

关键词: 涤/棉混纺织物; 一浴两步法; 非水介质; 染色牢度; 分散染料; 活性染料

中图分类号: TS193.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2021) 03-0164-08

Optimizing the dyeing process of terylene/cotton blended fabrics in a silicon-based non-aqueous medium

JIANG Nan¹, PEI LiuJun², ZHU Lei¹, GU Xiaomin², WANG Jiping^{1,2}

(1a. Engineering Research Center for Eco-Dyeing & Finishing of Textiles, Ministry of Education;
1b. Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Engineering Research Center for Clean Production of Textile Chemistry, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: In this paper, by using eco-friendly silicon-based non-aqueous dyeing medium, the effects of accelerating agent, temperature, holding time, liquid carrying rate and sodium carbonate concentration on the dye uptake of disperse dyes, the staining rate of cotton and the fixation rate of reactive dyes were discussed. Various fastness measures of dyed T/C fabric were analyzed. The results showed that the dye uptake of disperse dyes was improved and the staining of cotton fiber was reduced when the concentration of accelerating agent, the dyeing temperature and the holding time were 15.00% (o.w.f), 140 °C and 55 min respectively. The dye uptake and fixation rate of reactive dyes can reach 100% and 78.93% when the fixation temperature, liquid carrying rate and sodium carbonate concentration were 70 °C, 130% (o.w.f) and 3.25% (o.w.f) respectively. The crocking fastness, soaping fastness and sunlight fastness of dyed T/C fabric were all above level 4. Compared with traditional water bath dyeing, dyeing T/C fabric in silicon-based non-aqueous medium can not only improve the dye uptake and fixation rate but also shorten the dyeing time. Therefore, the proposed dyeing technology is of great practical significance for the

收稿日期: 2020-12-02 网络出版日期: 2021-02-03

基金项目: 国家重点研发项目 (2017YFB0309600); 新疆生产建设兵团重点研发项目 (2019AA001)

作者简介: 姜楠 (1993-), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事纺织化学与染整工程方面研究。

通信作者: 王际平, E-mail: jpw@sues.edu.cn

development of green dyeing and finishing.

Key words: terylene/cotton blended fabric; one-bath two-step process; non-aqueous medium; color fastness; disperse dye; reactive dye

0 引言

混纺纺织品结合了不同纤维的优点,具有较好的服用性能,已成为纺织品发展的重要方向^[1]。涤/棉混纺织物(T/C)不仅具有棉纤维的透气性、吸湿性、穿着舒适性,还具有聚酯纤维的良好保形性、耐磨性等优点,使 T/C 织物在消费者中享有盛誉^[2]。

T/C 织物传统水浴染色耗水量大、工艺复杂、对环境污染严重,并且染色废水中含有大量的电解质、碱剂和未反应的染料等,使得废水处理难度较大,加重了企业废水处理的成本。因此,如何处理印染废水、节约能源、降低成本成为现代纺织行业的重大问题^[3]。此外,各种添加剂的添加也增加了后续织物清洗的难度^[4]。基于此,寻找一种非水染色介质代替水浴染色具有重大的意义。在最近的研究^[5]中发现,D5(十甲基环五硅氧烷)非水介质染色技术已被应用于涤纶或棉织物,已成为一种潜在的环保染色介质。此技术实现了无盐、少水、少碱、无助剂染色,且染色介质回收循环使用^[6-8],有望解决传统水浴染色存在的诸多难题,引起了研究者的密切关注。

传统的水浴中,T/C 织物通常采用两浴两步法进行染色^[9]。虽然这种染色方法可以使织物取得较好的染色性能,但由于染色时间长、生产效率低、耗水电资源大、污水排放量大等因素,对环境和人们生活造成了严重的影响^[10]。随着环保的要求越来越严格^[11],印染行业研究者们正在试图探究一种新的染色工艺来取代两浴两步染色法^[12]。研究人员发现,一浴一步法可以节省染色时间、水和能源等,减少污水排放,达到节能减排的目的^[13]。然而,分散染料染色和活性染料染色在染色温度、染色 pH 值、染色助剂、电解质等方面存在差异^[14];而且分散和活性染料对棉纤维和涤纶纤维的沾色现象比较严重,这导致染料的利用率、色牢度和染色均匀性都低于两浴两步法染色^[15-16]。基于此,不少研究者提出了一浴两步法,使分散染色和活性染色在最佳条件下对织物进行染色,从而使染料和染色织物达到最高的利用率和较好的色牢度^[17]。因此,本文在 D5 非水介质中利用一浴两步法对 T/C 织物进行染色工艺研究。

本文采用分散和活性染料在 D5 体系和水浴体系中对 T/C 织物进行染色,并对染色后织物的色牢度、染料的利用率和环保性进行研究;分析染料沾污纤维的原因,探究在 D5 浴中对 T/C 织物染色的最佳工艺。此工艺对节能减排,绿色环保染整发展具有现实意义。

1 实验部分

1.1 实验材料及仪器

实验材料:100%全棉(127.2 g/m²,纱支数 40 S×40 S,纱密度 146×287),机织面料和 100%涤纶(150 D×150 D),经过精漂处理的 T/C 织物(65/35),均购自苏州凡特思纺织有限公司;D5,纯度 98%,由海宁市绿宇纺织科技有限公司提供;碳酸钠、硫酸钠、醋酸、DMSO(二甲亚砜),均为分析纯,购自天津科密欧化工试剂有限公司;分散剂 NNO,工业级,购自云哲新材料科技有限公司;皂片,工业级,由米恩检测仪器(上海)有限公司提供;分散红 177(滤饼,无分散剂)和活性红 195(滤饼),由上海贝通色彩科技有限公司提供。

实验仪器:DYE-24 可调向式打色机(上海千立自动化设备有限公司);H1850 离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司);L-24 震荡水浴锅(厦门瑞比精密机械有限公司);UV-2600 紫外可见分光光度计(岛津国际贸易(上海)有限公司);Datacolor800 分光测色仪(杭州雷迈科技有限公司);ML104T 电子分析天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司);电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);Y571 染色摩擦牢度仪(莱州元茂仪器有限公司),SW-24 耐洗色牢度试验机(宁波纺织仪器厂)。

1.2 实验方法

1.2.1 标准曲线的绘制

分别用去离子水和 DMSO 配制浓度为 1.0 g/L 的活性红 195 和分散红 177 母液,然后用移液管抽取 2、4、6、8、10 mL 母液分别定容到 25 mL 容量瓶中。最后选择在 400~700 nm 范围内用紫外分光光度计进行扫描测试,记录下最大吸收波长处的吸光度。以浓度为横坐标,吸光度为纵坐标作图,建立染料浓度和吸光度关系的标准曲线,标准曲线如图 1 所示。

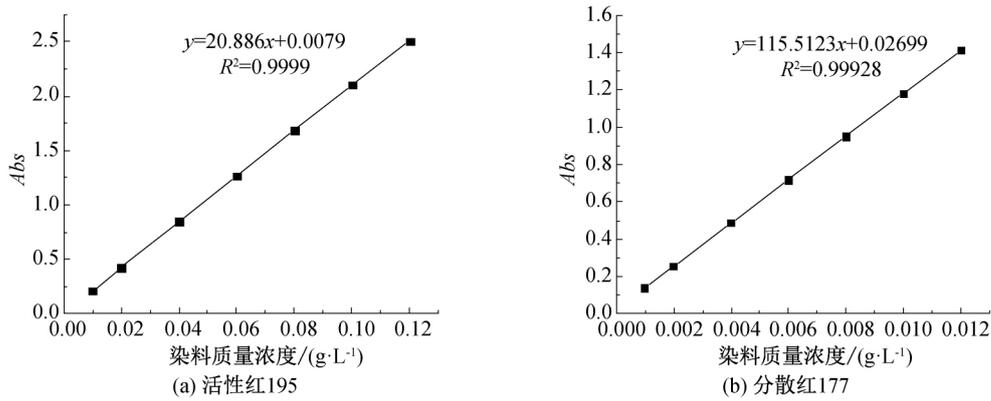


图1 活性红195和分散红177的标准曲线

1.2.2 染色工艺方法

染色时首先在浴比为1:30硅基染浴中加入1.00% (o.w.f) (相对于所染织物,下同)的分散红177染料和的促染剂B,在染色温度X中保持时间Z;之后加入1.00% (o.w.f)活性红195染料和碳酸钠A,控制带液率为C,在固色温度Y下保温30 min;染色结束后用D5洗涤两次,以洗除分散染料

在织物上的浮色,减少水的使用,同时对活性染料起到再次固色作用,最后再进行水洗,设置浴比均为1:10。染色织物选择T/C织物(65/35)和T/C模拟织物(1.3g涤+0.7g棉),工艺曲线如图2所示,其中:A为碳酸钠用量,B为促染剂用量,C为带液率含量,% (o.w.f);X,Y为染色和固色温度,°C;Z为保温时间,min。

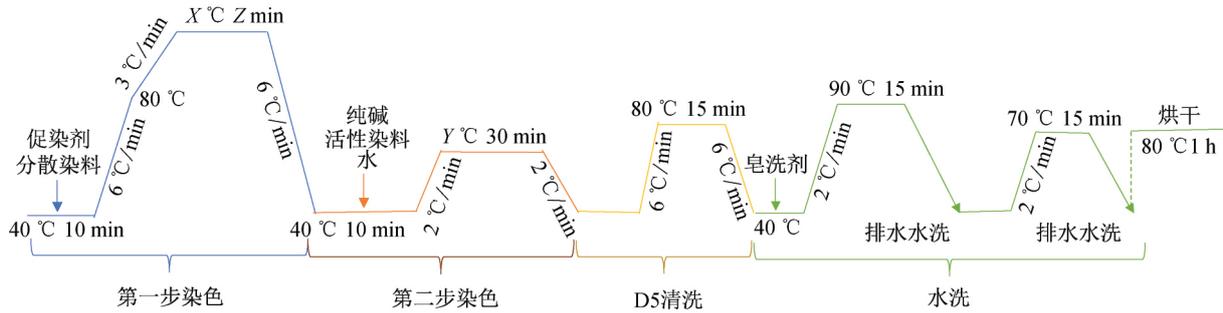


图2 硅基非水介质体系染色流程

为比较T/C织物在D5介质中的染色性能,将T/C织物在水浴中染色作为对比。染色浴比为1:20,分散177和活性195染料的用量均为1.00%

(o.w.f),分散剂NNO为1.0 g/L,元明粉为100.0 g/L,纯碱为5.0 g/L,冰醋酸为0.8 g/L,水洗浴比为1:10,工艺曲线如图3所示。

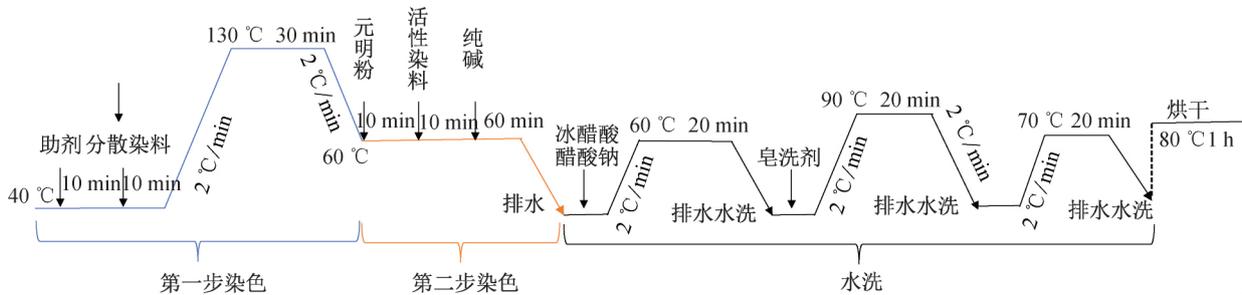


图3 水浴体系染色流程

1.2.3 剥色工艺

为了得到分散染料在涤纶和棉纤维上的分配,用分散红177对2.0g模拟T/C织物(1.3g涤纶+0.7g棉)染色,工艺按照图2染色方法。将染色后的涤

纶织物剪成2 cm×2 cm的布样,放入130°C温度的DMSO溶剂中剥色两次,设置浴比为1:300,每次剥色时间为30 min;棉织物则整块放入DMSO溶剂中,工艺与涤纶剥色相同,保留剥色液待用。

1.3 测试与表征

1.3.1 上染率的测定

用紫外分光光度计测量剥色液的吸光度, 根据标准曲线得到剥色液中染料浓度, 并计算上染率和相对沾色率, 上染率计算公式见式(1):

$$E/\% = \frac{C_0 V_0}{m} \times 100 \quad (1)$$

式中: E 为染料的上染率, %; m 为起始染料质量, g; C_0 为剥色残液的染料浓度, g/L; V_0 为剥色残液的体积, L。

相对沾色率: 分散染料在棉纤维上的沾色量与分散染料上染到涤纶上的染料量的比值。

1.3.2 固色率测定

按照图2工艺染色时只加入活性染料, 染色后采用残液法计算活性染料固色率, 计算公式见式(2):

$$E/\% = \left(1 - \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{C_0 V_0}\right) \times 100 \quad (2)$$

其中: E 指染料固色率, %; C_0 、 C_1 、 C_2 分别指初始染液的染料的浓度、染色后残液的染料浓度和洗涤

残液染料的浓度, g/L; V_0 、 V_1 、 V_2 分别指初始染料溶液的体积、染色残液体积和洗涤残液体积, m^3 。

1.3.3 染色色牢度测试

耐皂洗牢度参照《纺织品色牢度试验耐皂洗色牢度》(GB/T 3921—2008)测定; 摩擦牢度参照《纺织品色牢度试验耐摩擦色牢度》(GB/T 3920—2008)测定; 耐日晒色牢度参照《纺织品色牢度试验耐光色牢度》(GB/T 8426—1998)测定。

2 结果与讨论

2.1 分散染料的染色参数优化

2.1.1 促染剂对分散染料上染率的影响

按照1.2.2中图2的工艺, 在染色温度为140℃、保温时间为55 min、浴比为1:30、分散红177用量为1.00% (o.w.f)并不添加活性染料的条件下, 分别设置含促染剂0、5.00%、10.00%、20.00%、30.00%、40.00%、50.00% (o.w.f)七个梯度的染色浴对T/C模拟织物进行染色, 探究促染剂含量与染料上染率的关系, 结果如图4所示。

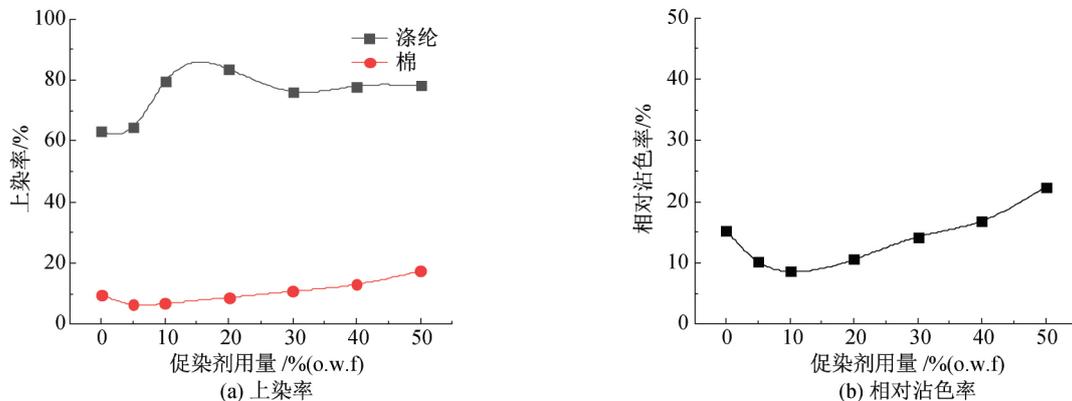


图4 不同浓度促染剂下分散染料的上染率和相对沾色率

由图4可知, 在140℃条件下, 分散染料对T/C模拟织物中涤纶组分的上染率随着促染剂的增加逐渐变大, 当促染剂用量为15.00% (o.w.f)时, 分散染料对涤纶上染率达到最高的83.5%; 若促染剂的用量继续增加, 分散染料对涤纶的上染率逐渐降低; 当用量达到30.00% (o.w.f)时, 分散染料对涤纶的上染率趋于稳定。随着促染剂的增加分散染料对棉的沾色率逐渐增大。在一定温度下, 促染剂的添加可能增强了涤纶和棉纤维的流动性, 从而产生更大的自由体积, 增大了涤纶和棉纤维的溶胀程度, 减少了分散染料向纤维内及表面扩散的空间阻力, 从而增大了

上染率和沾色率^[5]。结合促染剂用量对分散染料相对沾色率的影响可知, 促染剂用量为10.00%~15.00% (o.w.f)时, 分散染料的相对沾色率较低, 因此综合选择促染剂用量为15.00% (o.w.f)。

2.1.2 温度对分散染料上染率的影响

按照1.2.2图2工艺, 在促染剂含量为15.00% (o.w.f)、保温时间55 min、浴比为1:30、分散红177用量为1.00% (o.w.f)且不添加活性染料条件下, 设置6组不同染色温度对T/C模拟混纺织物进行染色, 探究温度与分散染料上染率的关系, 结果如图5所示。

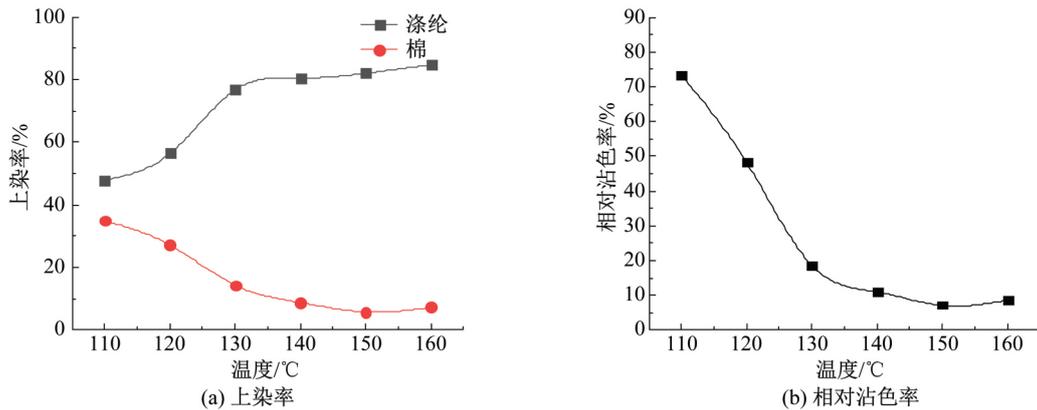


图5 不同染色温度下分散染料的上染率和相对沾色率

由图5可知,随着染色温度升高,分散染料对涤纶的上染率不断升高,这主要是因为涤纶链段运动加剧,分子间空隙加大,自由溶积增加,但当温度高于140℃后变化幅度趋于平缓。随着温度的升高,分散染料的相对沾色率逐渐降低,这可能由于分散染料对涤纶和棉的上染存在竞争现象;随着分散染料对涤纶纤维上染率的增加,染料对棉的沾色率逐渐降低、分散染料对棉的吸附属于放热反应,温度升高反应向降低沾色率的方向移动,最后会达到动态平衡^[19]。结合分散染料对涤纶成分的上染率以及相对沾色率,选择最佳的染色温度为140℃。

2.1.3 保温时间对分散染料上染率的影响

按照1.2.2图2工艺,在促染剂含量为15.00% (o.w.f)、染色温度为140℃、浴比为1:30、分散红177用量为1.00% (o.w.f)且不添加活性染料的条件下,设置6组不同染色保温时间,对T/C模拟织物进行染色,探究保温时间与分散染料对织物上染率的关系,结果如图6所示。

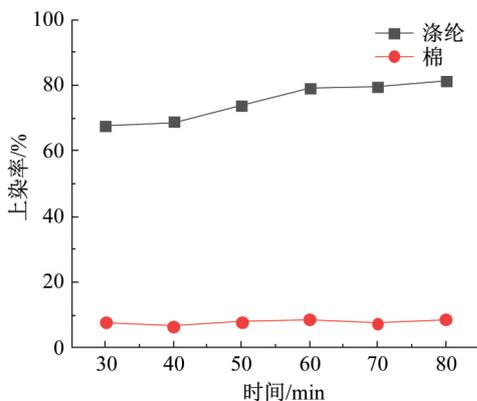


图6 不同保温时间下分散染料的上染率

由图6可知,保温时间从30 min至80 min,由于涤纶纤维的分子链段较棉纤维紧密,溶胀速度和流动性比棉纤维差,30 min后分散染料对棉纤维的沾色基本保持不变,但对涤纶的上染率却在缓慢上升,60 min后

变化率基本稳定。实验结果表明:分散染料对棉纤维的上染速率高于分散染料对涤纶的上染速率,可能原因是分散染料对棉纤维的沾色只是物理作用吸附到棉纤维上,不涉及分子扩散作用进入纤维内,所以在棉纤维上达到饱和所用时间较涤纶短。由此,无论延长或者缩短染色保温时间,只要在保温时间内充分地提高分散染料对涤纶的上染就即可以提高对涤纶的上染率,又可以降低对棉沾色率。因此,在本实验的工艺基础上选择55 min为最佳保温时间。

2.2 活性染料的染色参数优化

2.2.1 温度对活性染料固色率的影响

按照图2工艺,在促染剂含量为15.00% (o.w.f)、染色温度为140℃、浴比为1:30、活性红195用量为1.00% (o.w.f)、带液率130.00% (o.w.f)、碳酸钠3.25% (o.w.f)且不添加分散染料条件下,设置6组不同染色温度对2.0 g T/C混纺织物进行染色,探究不同固色温度对活性染料固色率的影响,结果如图7所示。

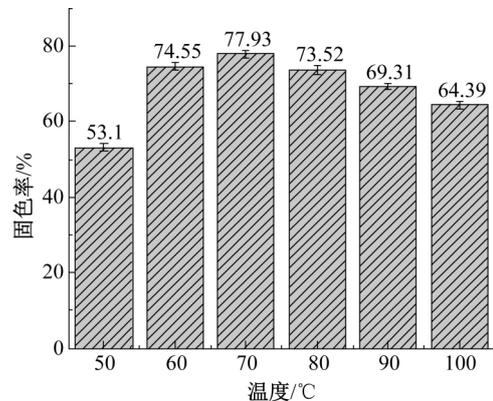


图7 不同固色温度下活性染料的固色率

由图7可知,随着固色温度的升高,活性染料的固色率逐渐升高;当温度为70℃时固色率达到77.93%,但是当温度高于70℃后固色率随着温度的升高而降低,这是因为活性红195在碱性高温条

件下容易发生水解,因此,使用活性红 195 染色 T/C 织物的最佳固色温度为 70 ℃。

2.2.2 带液率对活性染料固色率的影响

按照图 2 工艺,在促染剂含量为 15.00% (o.w.f)、染色温度为 140 ℃、浴比为 1:30、活性红 195 为 1.00% (o.w.f)、碳酸钠 3.25% (o.w.f)、固色温度为 70 ℃ 条件下,设置 6 组不同含量的带液率对 2.0 g T/C 混纺织物进行染色,研究不同带液率对活性染料固色率的影响,结果如图 8 如示。

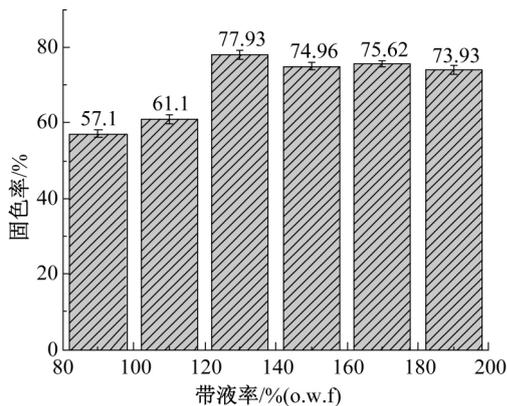


图 8 不同带液率下活性染料的固色率

由图 8 可知在碱剂不变情况下,随着染色带液率的升高,活性染料的固色率逐渐增大,当带液率为 130.00% (o.w.f) 时活性染料固色率为 77.93%;当带液率超过 130.00% (o.w.f) 后,染料的固色率略有下降后基本保持不变,说明适当的带液率可以促进染料与棉纤维的共价键结合。综合考虑,T/C 织物染色最佳的带液率为 130.00% (o.w.f)。

2.2.3 碳酸钠用量对活性染料固色率的影响

按照图 2 工艺,在促染剂含量为 15.00% (o.w.f)、染色温度为 140 ℃、浴比为 1:30、活性红 195 为 1.00% (o.w.f)、带液率 130.00% (o.w.f)、固色温度为 70 ℃ 条件下,设置 6 组不同浓度的碳酸钠浴对 2.0 g T/C 混纺织物进行染色,研究不同碱含量对活性染料固色率的影响,结果如图 9 所示。

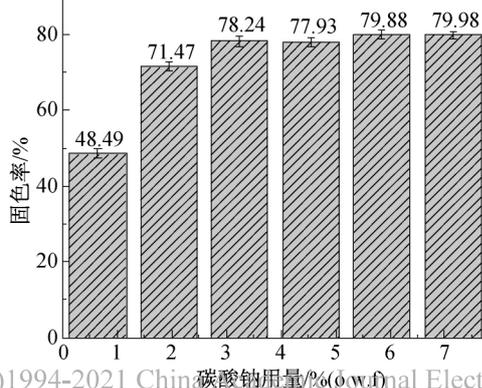


图 9 不同碱含量下活性染料的固色率

由图 9 可知,当碱含量为 0.65% (o.w.f) 固色率只有 48.49%,随着碱含量的增加,活性染料固色率明显增大;当碱含量为 3.25% (o.w.f) 时固色率达到 78.24%,继续添加碱含量,固色率变化趋于稳定。说明活性染料染色棉纤维时,碳酸钠作为固色剂能够促进染料与棉纤维发生共价键结合,提高染料的固色率。考虑染色过程中活性染料与纤维发生反应消耗碱量,导致染色过程中染浴碱含量降低,故过量的碱含量可以在染色过程中不断对染浴碱含量进行补充。结合废水处理及成本控制考虑,染色过程中选择 3.25% (o.w.f) 的碳酸钠用量。

2.3 染料利用率的比较

在硅基非水介质中按照最佳染色工艺对涤棉混纺织物进行染色,并将结果与水浴染色进行对比。不同染色介质中分散及活性染料的上染率和固色率对比情况如图 10 所示,从图中可以看出:传统水浴染色体系中活性染料的吸收量为 81.2%,而在 D5 染色体系中活性染料的吸收量为 99.8%,较水浴体系提高了 19.6%。常规水基染色浴对活性染料的固色率为 65.50%。相比之下,在 D5 染色体系中活性染料的固色率为 78.93%,较水浴体系提高了 13.43%。原因是 D5 染色体系中只有少量的水(占 T/C 织物总重的 45.50% (o.w.f)),导致所有的水都可以扩散到染色织物上,而活性染料又不溶于 D5,所以活性染料都会集中在纤维上与纤维发生共价反应更充分。而且 D5 染色介质分子结构中无羟基基团,降低了活性染料的水解。然而,传统的染色环境是水浴,碳酸钠远远超在 D5 介质染色浴中的用量,导致活性染料在水浴中水解严重。对于分散染色 T/C 织物,分散红 177 在水浴中染色的吸收率为 90.89%,而在 D5 染色浴中,分散红 177 的吸收率为 96.88%,较水浴提高了 5.99%。在水浴染色中分散染料上染率为 68.42%,而在 D5 染色浴中分散染料的上染率为 83.5%,较水浴提高 15.08%。两种染色工艺相比,在 D5 体系中染色分散染料和活性染料的利用率均优于传统水浴染色工艺。另外水浴体系染色过程中分散和活性染料的染色过程过程繁琐,而 D5 浴染色过程简单,染色整个时间要比传统水浴短。

2.4 染色牢度比较

表 1 展示了涤棉混纺织物在传统水浴和 D5 浴中染色后牢度的对比结果。由表 1 可知,在 D5 浴中织物的湿摩擦牢度比在水浴中的湿摩擦牢度高出半级,其他色牢度均达到与水浴相当水平。因此,使

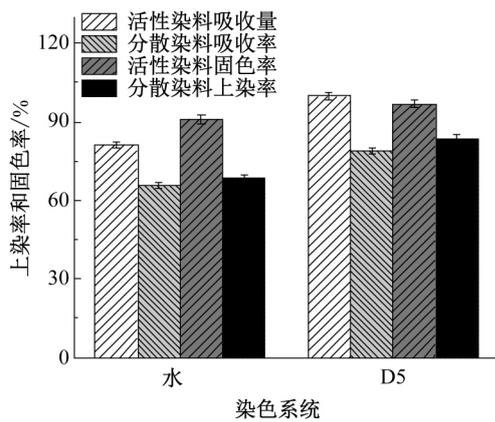


图10 不同染色介质中分散及活性染料的上染率和固色率对比

用 D5 浴对涤棉混纺织物进行染色后织物的牢度可以满足应用要求。

表1 织物在传统水浴和 D5 浴中染色后的牢度

工艺	摩擦牢度/级		耐水洗色牢度/级			耐日晒牢度/级
	干磨	湿磨	沾棉	沾涤	变色	
水浴	4~5	3~4	4~5	4	4	4
D5 浴	4~5	4	4~5	4	4	4

3 结论

本文研究了一种在 D5 介质中对涤棉混纺织物染色的新型绿色染色工艺,与传统染色方法相比,新工艺可提高分散染料和活性染料的利用率,同时降低分散染料对棉成分的沾色,且各项牢度达到应用要求,所得主要结论如下:

a) 使用分散红 177 和活性红 195 对涤棉混纺织物染色的最佳工艺条件:促染剂用量为 15.00% (o.w.f),分散染料染色温度为 140 °C,分散染料染色保温时间为 55 min,带液率为 130.00% (o.w.f),碳酸钠用量 3.25% (o.w.f),活性染料的固色温度为 70 °C。

b) 在染料用量相同的情况下,在 D5 染色体系中活性染料和分散染料的利用率分别高于传统水浴染色体系 13.43%和 15.08%。采用 D5 介质对 T/C 织物染色比采用水浴染色节约染色水 97.73%,表明本文工艺可减少废水排放,缩短染色时间,实现少碱、少水、无盐染色。

c) 采用 D5 染色浴对涤棉混纺织物进行染色,所得织物的沾色牢度、摩擦牢度、变色牢度和耐日晒牢度均在 4 级以上,达到与常规水浴染色一致的牢度。

参考文献:

- [1] 莫林祥, 陈丰. 分散/活性染料涤棉混纺织物的一浴一步法染色探讨[J]. 山东纺织经济, 2018, 261(11): 38-40.
- [2] Was-Gubala J, Starczak R. Nondestructive identification of dye mixtures in polyester and cotton Fibers Using Raman spectroscopy and ultraviolet-visible (UV-vis) microspectrophotometry [J]. Applied Spectroscopy, 2015, 69(2): 296-303.
- [3] Pei L J, Liu J J, Wang J P. Study of dichlorotriazine reactive dye hydrolysis in siloxane reverse micro-emulsion[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 165: 994-1004.
- [4] Alebeid O K, Pei L J, Zhou W L, et al. Sustainable wool fibers dyeing using henna extract in non-aqueous medium[J]. Environmental Chemistry Letters, 2020, 18(2): 489-494.
- [5] Wang J P, Cheng W Q, Gao Y Y, et al. Mechanism of accelerant on disperse dyeing for PET fiber in the silicone solvent dyeing system[J]. Polymers, 2019, 11(3): 520.
- [6] Wang J P, Gao Y Y, Zhu L, et al. Dyeing property and adsorption kinetics of reactive dyes for cotton textiles in salt-free non-aqueous dyeing systems [J]. Polymers, 2018, 10(9): 1030.
- [7] 缪华丽, 付承臣, 李永强, 等. 棉织物的活性染料/十甲基环五硅氧烷悬浮体系染色[J]. 纺织学报. 2013, 34(4): 64-69.
- [8] 吴浩, 刘今强. 涤纶以 D5 为介质的分散染料常压高温无水染色工艺研究[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2015, 33(5): 584-590.
- [9] 袁洁, 文卓, 贺江平. 涤棉混纺针织物短流程染色工艺的应用研究[J]. 针织工业. 2019(1): 46-50.
- [10] 陈文婵. 涤棉织物分散/活性一浴二步法染色[J]. 印染. 2013, 39(3): 19-21.
- [11] Mousset E, Dionysiou D D. Photoelectrochemical reactors for treatment of water and wastewater: A review[J]. Environmental Chemistry Letters, 2020, 18(4): 1301-1318.
- [12] Muralidharan B, Laya S. A new approach to dyeing of 80: 20 polyester/cotton blended fabric using disperse and reactive dyes[J]. ISRN Materials Science, 2011, 2011: 1-12.
- [13] Patil H I, Dorugade V A, Shivankar V S. Single and double bath dyeing of polyester/cotton blended fabric using disperse and reactive dye [J]. International Journal on Textile Engineering and Processes, 2016, 2: 29-33.

- [14] Imran M A, Hussain T. Modelling the properties of one-step pigment-dyed and finished polyester/cotton fabrics using response surface methodology [J]. *Coloration Technology*, 2016, 132(5): 414-420.
- [15] Wang G M, Zhou L, Chen J L, et.al. Study on one-bath dyeing technology and its application for disperse/reactive dyes on polyester/viscose blended fabrics[J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 441: 116-121.
- [16] 高丽贤, 蒋卫强, 曾志丰. 涤棉织物分散/活性一浴法染色[J]. *印染*. 2009, 35(19): 17-20.
- [17] 宋国方, 宋继武. 涤棉织物分散与活性染料低碱一浴两步法染色[J]. *针织工业*. 2015(5): 44-46.
- [18] 侯文生, 凌晨, 蔡智锋, 等. 有色涤棉混纺织物剥色的研究[J]. *应用化工*. 2018, 47(10): 2097-2102.
- [19] 杨一铭. 毛/涤混纺织物一浴法染色的研究[D]. 上海: 东华大学, 2009: 26-48.

(责任编辑:刘国金)