

棉针织物平幅连续前处理清洁生产工艺研究

周律¹, 白昱¹, 郭世良²

(1.清华大学 环境学院, 北京 100084;

2.北京国环清华环境工程设计研究院有限公司, 北京 100084)

摘要:针对目前棉针织物印染加工中存在产品质量差、生产效率低和高消耗高污染等问题,采用了等离子体、低温浸轧松式堆置、酶洗、真空脱水组合的平幅连续前处理清洁生产工艺对针织物进行了前处理,分析了该前处理工艺在提高产品质量和生产效率、节能减排、低碳环保方面的效果。结果表明:等离子体、低温浸轧松式堆置、酶洗、真空脱水组合的平幅连续前处理清洁工艺产品的强力损失约为传统工艺的50.0%,白度提高约4.0%,毛效降低约3.5%;工艺的电耗、水耗和COD排放量的平均值仅为传统工艺的78.8%,53.2%和63.5%;生产效率相较于传统工艺可提高一倍以上。该处理工艺在提高产品质量和生产效率、节能减排、低碳环保方面具有一定优势。

关键词:棉针织物;前处理;平幅连续加工;等离子体;清洁生产

中图分类号:TS 192

文献标志码:A

文章编号:1000-4033(2016)12-0079-05

Study of Open Width Continuous Pretreatment Process for Cotton Knitted Fabric with Clean Manufacturing

Zhou Lv¹, Bai Yu¹, Guo Shiliang²

(1.School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2.Beijing Gouhuan Tsinghua Environment Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100084, China)

Abstract:In order to alter conditions of bad quality of products, low efficiency, high consumption of resources and high pollution in knitted cotton printing and dyeing industry, a new open width pretreatment process combining with plasma, low temperature pad loose batch, enzyme washing and vacuum dehydration were employed, and effects of this pretreatment process was analyzed in aspects of improving quality of products and production efficiency, energy saving and emission reduction, and environmental protection. The results show that strength loss of products in the new process is only 50.0% compared with that in traditional process, with whiteness increasing 4.0%, capillary effect decreasing 3.5%; the power consumption, water consumption and COD_C emission of new process are 78.8%, 53.2% and 63.5% of the traditional process; output of the new process increases more than one time. Hence, the open width pretreatment process combining with plasma, low temperature pad loose batch, enzyme washing and vacuum dehydration have advantages in aspects of improving the quality of products and production efficiency, energy conservation and emission reduction, and environmental protection.

Key words:Cotton Knitted Fabric; Pretreatment; Open Width Continuous Production; Plasma; Clean Production

纺织工业是我国国民经济的支柱产业,也是新中国成立以
来,尤其是改革开放以来国家高度重视的民生产业。据统计,2014年
我国织物生产总量达893.68亿米,较1978年提高近20倍。其中规模

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07301-005)。

专利名称:棉针织物生物酶冷轧堆短流程平幅连续漂染生产工艺(ZL 201410201252.0);棉针织物节能型短流程连续印染生产线(ZL 201420243338.5)。

获奖情况:2016年中国纺织工业联合会科学技术三等奖。

作者简介:周律(1963—),男,副教授,博士。主要从事废水处理和资源化以及纺织清洁生产等方面的研究工作。

以上纺织企业数量达 3.6 万个,年度利润达 3 503.84 亿元,创造税收 1 648.58 亿元^[1]。然而,在纺织工业快速发展的同时,也存在高投入、高消耗、低效率和产品质量低下等问题,严重地制约了纺织工业发展^[2]。目前,我国印染行业水耗、能耗、生产效率与发达国家相比仍有较大差距,单位质量产品耗水量、能耗和生产时间至少为发达国家 2 倍^[3]。2015 年我国纺织废水排放量超过 20 亿吨,其中印染废水占 70%以上^[4],并且排放大量未充分利用的化工产品和生产助剂,大大增加了废水污染。因此,在提高生产效率和产品质量的基础上,在生产中实施清洁生产工艺,削减污水排放量和污染物排放量十分必要。

由于棉针织物的特性,长期以来采用高温绳状间歇式加工方式。该方式虽然相关技术和设备较为成熟,但是存在高能耗、高水耗、效率低、污染物排放量大等问题。目前,众多国内外印染工作者致力于新工艺的研发,常温平幅连续式的生产工艺具有能耗低、水耗低、药剂使用量少等特点^[5],倍受国内外研究人员的关注^[6-9]。传统工艺中棉针织物染整过程可大致分为前处理、染色和后整理 3 个阶段,其中前处理阶段耗水量达到整个工艺的 30%以上,耗能 35%以上,化学需氧量(COD)排放量 50%以上,工时 15%以上^[10],因此通过前处理工艺的创新,由传统的间歇生产转为连续生产可以大大提高生产效率,同时提高前处理中的化工产品和生产助剂利用率,实现节能减排。

文中将生物酶技术、等离子体工艺和低温浸轧松式堆置工艺结合,应用于棉针织物前处理。设备上采用平幅连续式设备代替传统工艺的绳状间歇式生产设备,工艺

上采用低温中性前处理工艺,并结合生物酶技术、等离子体工艺、低温浸轧松式堆置工艺和真空脱水技术代替传统的高温、强碱的间歇式生产工艺。并且结合实际生产应用,对比了该工艺与传统工艺的产品质量、节能减排效果以及生产效率,分析常温平幅连续式前处理工艺的清洁生产特点,以提升棉针织物印染的节能减排效益。

1 试验部分

1.1 试验材料与设备

织物:21.0 tex (28^s) 棉与 2.2 tex (20 D) 氨纶交织纬平针织物, 19.5 tex (30^s) 棉与 2.2 tex (20 D) 氨纶交织纬平针织物, 18.0 tex (32^s) 棉与 2.2 tex (20 D) 氨纶交织纬平针织物, 14.5 tex (40^s) 棉与 2.2 tex (20 D) 氨纶交织纬平针织物, 14.5 tex (40^s) 黏胶与 2.2 tex (20 D) 氨纶交织纬平针织物和 14.5 tex (40^s) 人造棉(50%黏胶、50%莫代尔)与 2.2 tex (20 D) 氨纶交织纬平针织物。

试剂:复合酶制剂 WCK125-1、复合酶制剂 GW506-1、酶氧漂白剂、复合酶制剂 WCK115-1、稳定剂、复合酶制剂 WCK115-2(自制),非离子表面活性剂(浴中宝,广东科峰化工有限公司),双氧水稳定剂(泡花碱,广东科峰化工有限公司),烧碱、30%双氧水、75%乙酸(常州市启迪化工有限公司),过氧化氢酶(枣庄全鼎生物科技有限公司)。

设备:低温等离子体处理设备、低温浸轧松式堆置设备、高效酶洗设备、脱水设备(自制),传统绳状间歇式前处理设备(立信染整

机械有限公司)。

1.2 工艺技术路线

平幅连续式前处理工艺技术路线如图 1 所示。坯布经剖幅、缝头和翻布之后,首先进行等离子体处理。通过等离子体对织物表面发生刻蚀作用和化学改性,使棉纤维上油质和蜡质的连续覆盖状态被氧化和破坏,杂质的可溶性提高,易于去除。因此,低温等离子体技术能优化传统的煮练工序,缩短工艺流程,节省助剂,提高前处理效果^[11]。经等离子体处理后的织物进入低温浸轧松式堆置。低温浸轧松式堆置目前在棉针织物前处理加工中已经有所应用,具有很好的发展前途,具有工艺流程短、设备简单、对环境污染小等特点,从而节约能源,耗水量也较小^[12]。经过低温浸轧松式堆置处理后的织物进入高效酶洗阶段,采用酶洗、短程汽蒸、水洗的工艺,对织物完成前处理,达到进一步染色的要求。最后,通过真空脱水工艺脱水后染色。

传统绳状间歇式前处理工艺技术路线图如图 2 所示。

由图 2 可知,坯布经剖幅、缝头和翻布之后,首先进行高温煮练,经过中温水洗和常温水洗之后加入醋酸中和,之后加入过氧化氢酶除氧,达到进一步染色的要求。

1.3 工艺处方

平幅连续式前处理工艺低温浸轧液处方^[13]:

复合酶 WCK12-1	10.0 g/L
复合酶 GW506-1	15.0 g/L
复合酶 WCK115-1	10.0 g/L
酶氧漂白剂	8.0 g/L

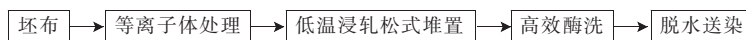


图 1 棉针织物节能减排高效前处理工艺技术路线

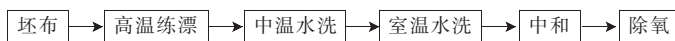


图 2 棉针织物传统间歇式前处理工艺技术路线

稳定剂 1.0 g/L
平幅连续式前处理工艺高效酶洗液处方^[13]:

复合酶 WCK115-2 15.0 g/L
传统绳状间歇式前处理工艺高温练漂液处方:

非离子表面活性剂(浴中宝) 2.0~3.0 g/L
烧碱(按纯 NaOH 计算) 1.0~3.0 g/L

30%双氧水 6%~10%
双氧水稳定剂(泡花碱) 8%~15%

传统绳状间歇式前处理工艺中和工序处方:

75%乙酸 0.4~0.8 g/L
传统绳状间歇式前处理工艺除氧液处方:

过氧化氢酶 0.8~1.0 g/L

1.4 工艺实践

1.4.1 新工艺

平幅连续式前处理多用于棉梭织物染整的生产加工,然而在棉针织物染整中应用较为受限,这主要是由于棉针织物本身的性质(如易发生卷边、横向收缩等问题)和设备相关条件(如设备自动控制精度不足等)^[14]。本研究中研发了一系列适合棉针织物平幅连续式前处理的设备,通过改进剥边器、调整扩幅辊与轧辊的距离,强化主动驱动减少过度拉伸,以缓解纵向拉伸张力和横向卷曲张力,调整作业单元,使之保持低张力、恒张力运行,张弛相间,以弛为主。这些设备不仅能满足产品的合格要求,而且具有节能、减排和高效的特点。

a. 低温等离子体处理

低温等离子体处理设备可分为3个装置,分别为进布装置、等离子体发生装置和出布装置。其中,进布装置采用轧式进布架,出布装置采用辊式落布器,等离子体

发生装置中采用以空气为介质的常温常压电晕放电形成等离子体对织物进行处理。

等离子体处理工艺条件:

功率 5 kW

车速 5~20 m/min

注意事项:车速须精确控制,车速高会导致油质和蜡质破坏不充分,影响后续处理,导致产品毛效和白度不达标;车速过慢会造成纤维素的过分破坏,产品强度降低。

b. 低温浸轧松式堆置

低温浸轧松式堆置设备可分为4个装置,分别为进布装置、浸轧装置、出布装置和堆置装置。其中,进布装置和出布装置与等离子体处理设备相同,浸轧装置采用高给液浸轧槽,堆置装置采用松式恒温堆置箱和网床恒温堆置箱。此设备采用二浸二轧二堆的生产方式,其中,第一次浸轧堆的作用为破坏纤维表面,分解纤维的角质层,提高果胶酶对果胶质作用的可及度,去织物上矿物油和天然杂质(如果胶质、棉籽壳等非纤维素杂质),提高毛细效应,第二次浸轧堆的作用为去除棉纤维天然色素,进一步去除棉籽壳及其他杂质。

低温浸轧松式堆置工艺条件:整体车速根据订单要求,设定为20~40 m/min;一浸采用复合酶制剂 WCK125-1 和复合酶制剂 GW506-1 制成浸液,运行温度为50~60℃;一轧出布带液率为120%;一堆采用松式恒温堆置,堆置温度为60℃,时间根据订单要求为30~60 min;二浸采用酶氧漂白剂、复合酶制剂 WCK115-1 和稳定剂制成浸液,运行温度为60~70℃;二轧出布带液率为120%;二堆采用网床松式恒温堆置,堆置温度为70℃,堆置时间根据订单要求为20~40 min。

注意事项:该工艺应严格控制车速和堆置时间,原因与等离子体工艺车速的控制类似。

c. 酶洗

高效酶洗设备可分为7个装置,分别是进布装置、补液装置、蒸箱、短蒸装置、水洗机组、净洗槽和出布装置^[15]。

酶洗工艺条件:整体车速根据订单要求,设定为10~40 m/min;进布装置采用轧式进布架,用以轧除布料中的浸液;补液槽中加入复合酶制剂 WCK115-2,温度约为30℃;蒸箱采用网状蒸箱,蒸箱内温度约为80℃,作用为配合复合酶制剂 WCK115-2 高效、快速去除残留在织物上的复合酶氧漂白剂;短蒸装置采用滚床短蒸,温度约为98℃,使残留在织物上的所有酶制剂失活;高效净洗装置采用转鼓式净洗箱,水流呈双向线状强力喷淋,洗除残留在织物上的酶制剂和杂质;净洗槽中加入清水,作用是进一步洗除残留在织物上的酶制剂和杂质;出布装置采用轧式出布架。

d. 脱水设备及工艺条件

脱水设备分为3个装置,分别是进布装置、脱水装置和出布装置。进布装置和出布装置与高效酶洗设备的相同,脱水装置采用真空抽吸脱水机。

脱水工艺条件:车速约为60 m/min,真空压力根据布料情况为-0.05~-0.01 MPa,以保证织物带液量在30%以下,并且织物强力损失10%以下。

1.4.2 传统工艺

传统绳状间歇式前处理设备采用常温溢流染色机,浴比为1:8,容积为2 000 L。

练漂采用一浴法工艺条件为:温度为98℃,升温速率为2~3℃/min,练漂时间为40 min;中温水洗温度

为 60 ℃, 升温速率为 2~3 ℃/min, 水洗时间为 15 min; 室温水洗时间为 15 min; 中和工序运行温度为室温, 运行时间为 30 min; 除氧工序运行温度为室温, 运行时间为 20 min。

2 结果与讨论

从某棉针织印染企业挑选 1 批总质量约 200 kg 的棉针织物订单, 共取 10 批, 其织物种类包括目前常见的 6 种克质量为 180~200 g/m² 的针织物, 将每个订单分为等质量两部分, 每部分约 100 kg, 其中一部分采用新工艺, 另一部分采用传统工艺进行前处理。

2.1 产品质量

产品的织物强力损失、毛效和白度的平均值见表 1。

表 1 产品质量对比

项目	新工艺	传统工艺
织物强力损失/%	6.53	12.19
30 min 毛效/cm	12.90	13.28
白度	85.19	81.88
注: 本表数据由常州市纤维检验所测试。		

由表 1 可知, 新工艺产品强力损失约为传统工艺的 50.0%, 白度比传统工艺高约 4.0%, 毛效比传统工艺低约 3.5%。究其原因, 等离子体对于棉针织物坯布表面的油质和蜡质破坏效果明显, 使织物不需要长时间浸泡于高温碱性练漂液中来除去坯布表面的油质和蜡质, 也不需要长时间接触醋酸进行中和, 因此张力损失较低; 新工艺中高效酶氧漂白剂的漂白能力高于传统工艺中的双氧水, 提高织物的白度。但是由于新工艺对织物的高温处理时间短, 且表面活性剂投加量少, 因此毛效略低于传统工艺产品。总体而言, 新工艺产品的质量与应用性能有一定的提高。

2.2 能耗和 COD 排放

不同工艺的电耗、水耗和 COD

排放量的 10 次生产平均值见表 2。

表 2 电耗、水耗和 COD 排放量对比

项目	新工艺	传统工艺
电耗/(kW·h)	362.6	461.3
水耗/m ³	2.20	4.22
COD 排放量/kg	8.38	13.21
注: COD 排放数据由江苏迈斯特检测有限公司测试。		

由表 2 可知, 在生产同等质量的同种产品的条件下, 新工艺的电耗、水耗和 COD 排放量均显著降低。其中新工艺的电耗、水耗和 COD 排放量的平均值仅为传统工艺的 78.8% (其中, 传统工艺未进行织物脱水)、53.2% 和 63.5%。新工艺节能减排效果的显著原因分析如下。

首先, 传统工艺中耗能集中在练漂工序和中温水洗工序, 其中练漂工序采用强碱煮沸进行练漂, 需要将坯布置于练漂液中煮沸 40 min, 以除去布料表面的油质和蜡质; 并且在中温水洗工序时需要加热至 60 ℃后运行 60 min。在这期间加热溶液需要大量的热量, 同时由于所有工序在同一染缸内进行, 相邻工序之间运行温度差别较大, 因此需要频繁降温, 染缸不能内衬或外贴保温材料, 因此热量流失严重。在新工艺中, 主要耗能工序集中在低温浸轧松式堆置和高效酶洗两个工序。低温浸轧松式堆置中由于上一道工序的等离子体和本工序的高效复合酶的作用, 不需要将轧液煮沸就可完成练漂工作, 且轧液总量约为传统工艺练漂液的 40.0%, 因此加热液体所需能量减少, 同时在高给液浸轧槽和恒温堆置箱外贴保温材料, 减少了热量的损失。酶洗工序蒸箱中仅有少量水对整个空间保持恒温, 并且补水 70.0% 以上来自于短蒸床的排水, 热量利用率高; 短蒸床仅仅是将少量水 (约织物质量的 0.5~0.8 倍) 沸

腾, 同时蒸箱和短蒸床均有保温措施。因此, 新工艺比传统工艺节能可达 20.0% 以上。

其次, 传统工艺采用间歇式生产, 每一道工序结束都需要将染缸内约为织物质量 8 倍的液体排空, 工序之内不存在一水多用, 工序之间也不存在水的回用, 水利用率低下。新工艺中首先每个工序不需要传统工艺的水量, 其次在工序内进行一水多用, 酶洗工序中净洗槽排水全部用于转鼓式净洗箱进水, 短蒸床的进水 70.0% 以上来自转鼓式净洗箱排水, 同时短蒸床的排水全部排入蒸箱中, 最后在工序间实现水回用, 低温浸轧松式堆置工序中第二道浸轧液 50.0% 的水来自于酶洗工序的排水。因此, 新工艺不仅水用量少, 生产用水的利用率远高于传统工艺, 可以比传统工艺节水近 50.0%。

最后, 传统工艺由于未采用等离子体破坏布面油质和蜡质, 导致油质和蜡质难以去除, 因此在练漂工序中需要大量表面活性剂 (约 2.0~3.0 g/L) 在高温强碱的作用下去除油质和蜡质, 而排出的表面活性剂使排水中 COD 总量提高; 中和工序中加入的醋酸和除氧工序加入的过氧化氢酶也会提高 COD。新工艺中由于等离子体技术和高效复合酶的使用, 不用额外加入任何表面活性剂; 同时由于复合酶中多使用中性酶, 仅仅使用酶氧漂白剂, 因此也不用加入醋酸; 新工艺耗水量较少, 虽然各种助剂浓度较高, 但是使用量少, 使用效率高。总体而言, 新工艺较传统工艺 COD 减排量约 40.0%。

2.3 生产效率

新工艺和传统工艺的生产时间平均值分别为 2.37 h 和 6.15 h。由此可知, 在生产同等质量的同种

产品的条件下,新工艺比传统工艺节省时间约 60.0%,生产效率可提高一倍以上。究其原因:首先,传统工艺中相邻工序温差较大,加热和冷却时间约占到生产时间的30.0%以上,新工艺中各个工序在不同的设备上完成,不存在相邻工序之间升温降温的等待时间;其次,传统工艺自动化程度较低,每个工序都需要工人手动操作,包括添加助剂、设定程序和温度等,只有将这些全部完成后下一个工序才能开始计时运行,新工艺助剂由自动化设备自行补加,每一道工序的运行情况在生产前已全部设定完毕,不需要在生产中人工添加助剂、设定程序;最后,由于传统工艺采用间歇式生产,工序和工序之间需要进行排水和进水,进布和出布均需要单独进行,新工艺由于采用连续式生产,进水、排水和进布出布在工艺运行过程中同步完成。因此,新工艺可实现生产效率的提高。

3 结束语

本研究开发了平幅连续式设备代替传统工艺的绳状间歇式生产设备,工艺上采用低温中性前处理工艺,并结合生物酶技术、等离子体工艺、低温浸轧松式堆置和真空脱水技术组合新工艺代替传统的高温、强碱染缸式工艺。通过实际大规模生产,对比了该新工艺与传统工艺的产品质量、节能减排效果以及生产效率,结果表明,该工艺的产品质量一定程度上高于传统绳状间歇式预处理工艺;相较于传统绳状间歇式预处理工艺,新工艺可具有显著的节能、节水和减排效益,并能提升生产效率。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴国家统计局2015[M].北京:中国统计出版社,2015:987-1023.

[2] 邓燕平.棉印染行业节能减排研究[D].苏州:苏州科技学院,2010.

[3] 王建庆,毛志平,李戎.印染行业节能减排技术现代及展望[J].印染,2009,35(1):44-51.

[4] 刘定平,崔静.印染废水的旋流雾化脱硫处理[J].印染,2015(20):43-46.

[5] KHATRI A, PEERZADA M H, MOHSIN M, et al. A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution [J].Journal of Cleaner Production,2015,87(1):50-57.

[6] NUNES L J R, MATIAS J C O, CATALÃO J P S. Analysis of the use of biomass as an energy alternative for the Portuguese textile dyeing industry [J].Energy,2015,84(1):503-508.

[7] 徐顺成.针织物平幅连续化前处理工艺与设备[J].针织工业,2011(5):34-36.

[8] KOHL T, LAUKKANEN T, TUOMAALA M, et al. Comparison of energy efficiency assessment methods: case bio-SNG process [J].Energy,2014,74(1):88-98.

[9] 王深喜,李志康,李世琪,等.纯棉针

织物平幅冷堆-短蒸前处理工艺应用研究[J].印染助剂,2012,29(10):43-45.

[10] 马春燕.印染废水深度处理及回用技术研究[D].上海:东华大学,2007.

[11] KAN C W, LAM C F, CHAN C K, et al. Using atmospheric pressure plasma treatment for treating grey cotton fabric [J].Carbohydrate Polymers,2014,102(3):167-173.

[12] 刘江坚,万捷.第17届上海国际纺织工业展览会针织印染前处理机械述评[J].针织工业,2015(7):22-27.

[13] 周律,郭世良.棉针织物生物酶冷轧堆短流程平幅连续漂染生产工艺:中国,201410201252.0[P].2014-07-30.

[14] TISSERA N D, WIJESENA R N, SILVA K M D. Ultrasound energy to accelerate dye uptake and dye-fiber interaction of reactive dye on knitted cotton fabric at low temperatures[J].Ultrasonics Sonochemistry,2016,29(1):270-279.

[15] 周律,郭世良,陈晓梅.棉针织物节能型短流程连续印染生产线:中国,201420243338.5[P].2014-05-13.

收稿日期 2016年5月21日

信息直通车

《针织工业》官方微信邀您访问!

《针织工业》微信公众平台是针织行业重要的资讯与技术平台。登陆微信加关注,您即可以通过微信与我们进行互动交流,并可以每天获得即时的行业新闻、企业动态、技术知识、经营管理等信息资讯,提前了解每期《针织工业》刊登内容,而且微信平台特别开设印花、圆机、面料、检测等专栏,让您关注一个微信号可知行业技术动态,学习行业知识。

关注方法:微信搜索针织工业官方微信“zzgy1973”或扫描二维码加关注。

关注微信后,本刊作者输入“3”并按提示回复,即可成为微信会员,享有随时查询稿件信息和发表进度,反馈文章信息等权益。普通读者也可申请微信会员,回复“申请+姓名”,并按照回复提示输入信息,即可享有微信会员权益,并享有加入针织工业微信会员精英QQ群(432483194)与大家互动交流的权益。

