

分散染料可染丙纶的性能分析及染色工艺研究

陈凤鸣, 汪 澜

(浙江理工大学先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室, 杭州 310018)

摘 要: 在分析分散染料可染丙纶的形态结构、化学结构、热性能、结晶度及物理机械性能的基础上,采用分散红FB、分散黄E-3G和分散蓝2BLN对分散染料可染丙纶进行染色。通过单因素和正交试验及极差分析,确定了最佳染色工艺: $T=130^{\circ}\text{C}$, $t=90\text{ min}$, pH为4.5,浴比1:50。实验结果表明:在该染色工艺下的可染丙纶针织物的上染率在72%以上、K/S值在6.3以上,但色牢度比常规涤纶染色品低1~1.5级。

关键词: 分散染料可染丙纶; 染色工艺; 色牢度; 色深度

中图分类号: TS193.638; TS102.6 **文献标志码:** A

0 引言

聚丙烯纤维(PP)即丙纶是热塑性纤维之一,它具有低成本、低密度、高熔点和高强度等性能而受到欢迎^[1]。但丙纶纤维大分子因只是一条碳氢链,且不含极性基团或化学活性基,而不容易染色。

分散染料可染丙纶是将丙纶与改性剂以一定比例均匀混合后熔融纺丝所得,结构中含有苯环、酯羰基等涤纶特征基团,与涤纶有一定的相似性。故可用分散染料染色^[2]。本文以一种分散染料可染丙纶为研究对象,在采用现代分析测试手段分析纤维结构和性能的基础上,研究其染色工艺,对开发分散染料可染丙纶具有重要意义。

1 实验部分

1.1 实验材料与药品

涤纶(55 dtex)、丙纶(122.7 dtex)、可染丙纶(56 dtex,绍兴九州化纤有限公司),可染丙纶针织物(由可染丙纶在KU483型袜机上织成);分散红FB、分散黄E-3G、分散蓝2BLN(浙江龙盛集团有限公司);分散剂NNO(工业品)、醋酸(AR)等。

1.2 仪器与设备

JSM-5610LV 扫描电镜(日本电子公司), Spectrum One 傅里叶变换红外光谱分析仪(美国Perkin-Elmer公司), PerkinElmer Pyris1 TGA(美国Perkin-Elmer公司), PerkinElmer Pyris 1 DSC(美国Perkin-Elmer公司), XL型纱线强伸度仪(莱州市电子仪器有限公司), FA1004分析天平(上海精科有限公司), KU483 袜机(江苏无锡市锡花袜机有限公司), 雷磁pHS-3C pH计(东莞市创瑞检测试验设备有限公司), IR-12 红外染色机(杭州三锦科技有限公司), UV2550 紫外分光光度计(Shimadzu Corporation), Y571(L)染色摩擦牢度仪器(浙江温州纺织仪器厂), SW-12AII型耐洗色牢度试验机(温州大荣纺织标准仪器厂), SF600X Datacolor 测色光谱仪(美国Data Colour公司), XENOTEST150S 风冷式日晒试验机(美国Atlas公司), YG(B)605型熨烫升华色牢度试验仪(东莞市方圆仪器有限公司)。

1.3 纤维性能测试方法

1.3.1 形态结构

将涤纶、丙纶及可染丙纶纤维镀金,通过JSM-5610LV扫描电镜观察纤维的纵向表面形态^[3]。测试条件:常温。

收稿日期: 2014-07-25

基金项目: 国家国际科技合作专项项目(2011DFB51570)

作者简介: 陈凤鸣(1988-),女,浙江桐乡人,硕士研究生,主要从事染整新技术方面的研究。

通信作者: 汪 澜, E-mail: wlan_cn@aliyun.com

1.3.2 化学结构

采用 KBr 压片法,通过 Spectrum One 傅里叶变换红外光谱分析仪分别对涤纶、丙纶及可染丙纶纤维进行分析^[3]。测试条件:恒温 20℃。

1.3.3 热性能

采用 PerkinElmer Pyris 1 TGA 和 PerkinElmer Pyris 1 DSC 分别对涤纶、丙纶及可染丙纶纤维进行分析^[4]。TGA 的测试条件:气氛单元氮气钢瓶输出压为 0.2 MPa,流量 40 mL/min,温度范围 20~780℃,升温速率 10℃/min;DSC 的测试条件:气氛单元氮气钢瓶输出压为 0.2 MPa,流量 40 mL/min,温度范围 -20~330℃,升温速率 10℃/min。

1.3.4 结晶度

将涤纶、丙纶和可染丙纶纤维切片,采用 PerkinElmer Pyris 1 DSC 分别对 3 种纤维进行分析^[4]。测试条件同 1.3.3。

1.3.5 物理机械性能

采用 XL 型纱线强伸度仪分别对涤纶、丙纶和可染丙纶纤维进行测试。测试条件:间距长度 20 mm,拉伸速度 20 mm/min,预加张力 0.75 cN/tex。

1.4 染色

1.4.1 染色工艺处方及流程

a) 工艺处方

分散染料/(%)(owf)	1;
染色温度/℃	120、125、130、135、140;
保温时间/min	0、30、60、90、120;
染液 pH 值(用醋酸调节)	4.0、4.5、5.0、5.5、6.0;
浴比	1:50;
扩散剂 NNO/g/L	2。

b) 工艺流程

工艺流程如图 1 所示。

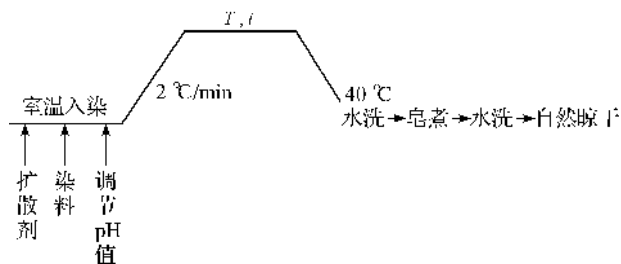


图 1 染色工艺流程

1.4.2 正交试验^[5]

在单因素分析的基础上,固定染料用量 1% (owf)和染液浴比 1:50,以染色温度(125、130、135℃)、保温时间(80、90、100min)和染液 pH 值(4、4.5、5)进行三因素三水平正交实验。

1.4.3 上染率^[5]

采用残液法,使用紫外分光光度计测试染色前染液的最大吸光度 A_0 及染色后残液的最大吸光度 A_1 ,再按公式计算:上染率 $= (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\%$ 。

1.4.4 K/S 值^[5]

K/S 值表示表观得色深度,其数值在 SF600X Datacolor Datacolor 计算机测色配色仪上采用 D65 光源,观察角 10°按规定进行测试。

1.4.5 色牢度测试

a) 耐洗色牢度:参照 GB/T 3921.1—2008 纺织品色牢度试验耐洗色牢度:试验 1 测定。

b) 耐摩擦色牢度:参照 GB/T 3920—2008 纺织品色牢度试验耐摩擦色牢度测定。

c) 耐光色牢度:参照 GB/T 8426—1998 纺织品色牢度试验耐光色牢度:日光测定。

d) 耐热压色牢度:参照 GB/T 6152—1997 纺织品色牢度试验耐热压色牢度测定。

2 结果与讨论

2.1 分散染料可染丙纶的性能分析

2.1.1 形态结构

用扫描电镜观察丙纶、可染丙纶和涤纶纤维的纵向形态结构^[6],结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出,丙纶和涤纶的纵向表面形态光滑,可染丙纶的纵向表面有沟槽。因为该可染丙纶由普通丙纶与改性共聚酯共混制得,其中改性共聚酯含量为 12% 左右,由于改性共聚酯的混入,可能破坏了丙纶纤维表层而产生大小不一的沟槽。这些沟槽有利于染料分子的进入,对提高纤维的染色性能有一定的作用。

2.1.2 化学结构

纤维的染色性能和染色机理由其化学结构决定。为了探讨改性共聚酯的加入对丙纶纤维产生的影响,用 SPECTRUM ONE 傅立叶变换红外光谱分析仪分别测定涤纶、丙纶和改性丙纶纤维的化学结构,结果如图 3 所示。

聚丙烯纤维是一条碳氢链,链上有着含量几乎相等的一 CH_3 和一 CH_2 —,所以在 2841~2960 cm^{-1} 处有较强的一 CH_3 和一 CH_2 —吸收峰。丙纶与改性共聚酯共混后,纤维上出现了涤纶的特征吸收峰,即可染丙纶在 1720 cm^{-1} 处有明显的酯羰基吸收峰;在 721 cm^{-1} 和 1450 cm^{-1} 处同时出现吸收峰,证明了苯环的存在;在 3430 cm^{-1} 处存在吸收峰,这是一 OH 的伸缩振动峰。

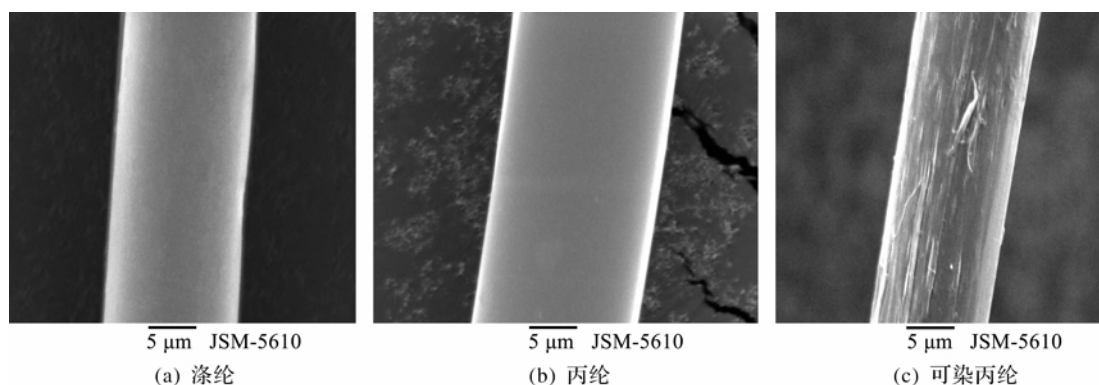


图2 纤维的SEM照片

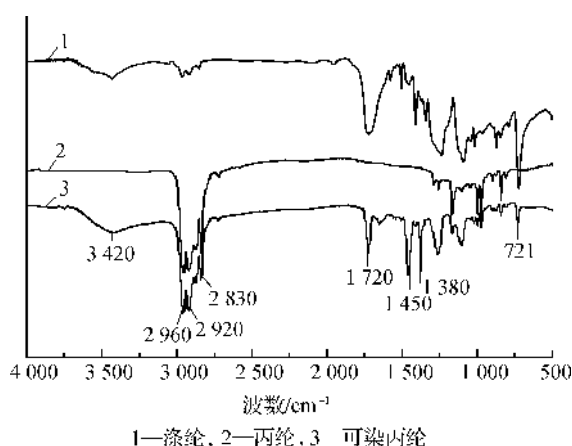


图3 涤纶、丙纶和可染丙纶的红外光谱图

可见,通过添加改性共聚酯,在丙纶纤维中引入一定数量的羟基等极性基团,一定程度上改善了丙纶纤维的强疏水性,使分散染料能够与这些极性基产生次价键力作用,渗透到可染丙纶纤维内部,从而固着在纤维内部,并保证一定的色牢度。可染丙纶具有涤纶的特征吸收峰,说明共混后纤维结构与涤纶较为相似,这也是选择分散染料染色的原因之一。

2.1.3 热性能

影响纤维热稳定性的因素主要有物理和化学两方面。在物理方面,拉伸、辐射处理等方法均可以改变纤维的热稳定性;在化学方面,采用表面改性、氧化等可以改变纤维聚合物的热稳定性^[5]。涤纶、丙纶和可染丙纶纤维的热性能如图4和图5所示。

由图4可知,三种纤维的TG曲线都是呈“S”型。比较初始裂解温度可见:丙纶和可染丙纶分别为291.77℃和268.92℃,而涤纶为398.40℃。说明丙纶和可染丙纶纤维的耐热性比涤纶纤维差,即100℃以上开始收缩。

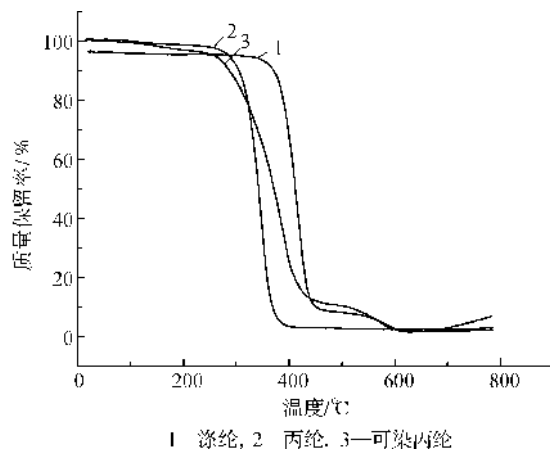


图4 涤纶、丙纶和可染丙纶的TGA曲线

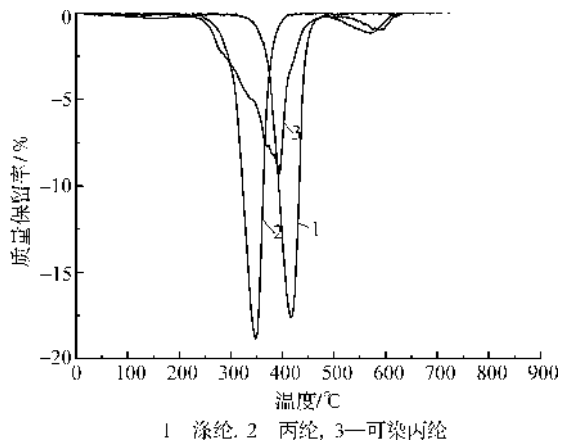


图5 涤纶、丙纶和可染丙纶的DTG曲线

由图5可知,涤纶和可染丙纶纤维出现两个热失重温度区,第一个热失重区温度范围为245~450℃,第二个热失重区温度范围为490~630℃;丙纶纤维只有一个热失重温度区。可染丙纶的两个热失重区分别对应于丙纶和涤纶的热失重区间,说明可染丙纶第一个热失重区由于聚丙烯和聚酯的热降解所致,而第二个热失重区则主要由聚酯的热降解所致。

玻璃化转变温度是指无定型聚合物(包括结晶型聚合物中的非结晶部分)由玻璃态向高弹态或者

由后者向前者的转变温度,是无定型聚合物大分子链段自由运动的最低温度,通常用 T_g 表示^[4]。同时,纤维的玻璃化温度和熔点也直接影响着纤维的染色性能。为了研究共混组分对丙纶玻璃化温度和熔点的影响,对涤纶、丙纶和可染丙纶纤维的 DSC 曲线进行分析,结果如图 6 所示。

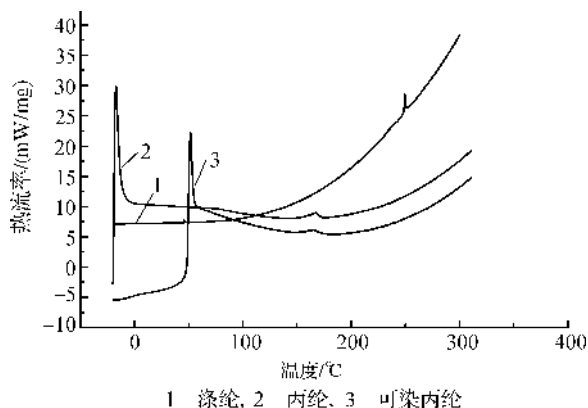


图 6 涤纶、丙纶和可染丙纶的 DSC 曲线

由图 6 可知,涤纶的 DSC 曲线上没有明显的玻璃化转变峰,只有熔融峰,且熔融温度为 249.42℃。而丙纶和可染丙纶的 DSC 曲线上有 2 个峰,由此可知,丙纶的玻璃化温度为 -9.6℃,熔融温度为 166.97℃,而可染丙纶的玻璃化温度为 47.54℃,熔融温度为 165.9℃。因丙纶是由聚丙烯聚合而成,大分子上无极性基团,且分子间力小,故丙纶的玻璃化温度在 0℃ 以下;又因丙纶采用等规聚合时聚丙烯大分子中的各原子及基团在三维空间有规律地排布,熔融温度可达 165~170℃。而丙纶与改性共聚酯共混后,内部结构改变,玻璃化温度明显提高,但熔融温度变化不明显。

2.1.4 结晶度分析

从图 6 的 DSC 曲线还可分析涤纶、丙纶和可染丙纶纤维的结晶度^[7]。对图 6 中 3 种纤维的熔融峰面积进行积分,得到纤维样品的结晶熔融热 ΔH_m ,并根据下式计算纤维样品的结晶度^[8]:

$$f_c = \Delta H_m / \Delta H_c \times 100\%$$

其中: f_c 表示纤维样品结晶度; ΔH_m 表示纤维样品熔融热(J/g); ΔH_c 表示纤维样品 100% 结晶时的熔融热(J/g)。可染丙纶的 ΔH_c 近似取为丙纶的 ΔH_c 。

涤纶: $\Delta H_m = 9.49$ J/g, 则其结晶度 = $9.49 / 67.03 \times 100\% = 14.6\%$;

丙纶: $\Delta H_m = 89.29$ J/g, 则其结晶度 = $89.29 / 138 \times 100\% = 64.70\%$;

可染丙纶: $\Delta H_m = 74.92$ J/g, 则其结晶度 =

$74.92 / 138 \times 100\% = 54.29\%$ 。

由以上数据可知,丙纶纤维经过共混改性后结晶度降低 10% 左右,即纤维无定型区增加,结构规整性被破坏,这为染料的吸附创造了条件。但与涤纶纤维相比,其结晶度仍然较高,所以染色性能不及涤纶纤维。

2.1.5 物理机械性能

为了研究改性共聚酯对可染丙纶纤维物理机械性能的影响,对涤纶、丙纶和可染丙纶纤维的断裂强度、断裂伸长率和模量进行测试,结果如表 1 所示。

表 1 涤纶、丙纶和可染丙纶纤维的物理机械性能

纤维种类	断裂强度/(cN/dtex)	断裂伸长率/%	模量/Pa
涤纶	4.9	29.6	26.6
丙纶	3.9	17.7	23.8
可染丙纶	3.1	26.2	4.9

由表 1 可以看出,丙纶纤维改性后断裂强度下降约 20%,断裂伸长率提高约 48%,远大于未改性的丙纶,但模量降低。这说明在相同外力作用下可染丙纶纤维抗弹性形变能力降低,更易发生弹性形变。

虽然改性共聚酯与丙纶共混改性了,但丙纶依旧是维持纤维的主体,其断裂强度主要取决于丙纶部分。因为可染丙纶纤维中丙纶含量降低,使断裂强度随之降低。而可染丙纶纤维的断裂伸长率和模量主要取决于改性共聚酯的加入量,由于改性共聚酯的加入,可染丙纶纤维的结晶度降低,纤维大分子间的作用力减小,抵抗形变能力减小,从而使初始模量降低,且加入量越多,模量下降越多,断裂伸长率上升越大^[9]。与丙纶纤维相比,可染丙纶的结晶度较低,断裂伸长率较大。

2.2 分散染料可染丙纶的染色工艺研究

2.2.1 单因素分析

选取分散红 FB、分散黄 E-3G 和分散蓝 2BLN 三原色对可染丙纶针织物染色,并就染色温度、保温时间、染液 pH 值和染液浴比对上染率的影响进行单因素分析。

2.2.1.1 染色温度对染色品上染率的影响

在染液浴比 1:50、pH 值 4.5 条件下,采用分散红 FB、分散黄 E-3G 和分散蓝 2BLN 3 只分散染料(1%(owf))分别于 120、125、130、135℃ 和 140℃ 对可染丙纶针织物染色 90 min。染色温度与染色品上染率的关系如图 7 所示。

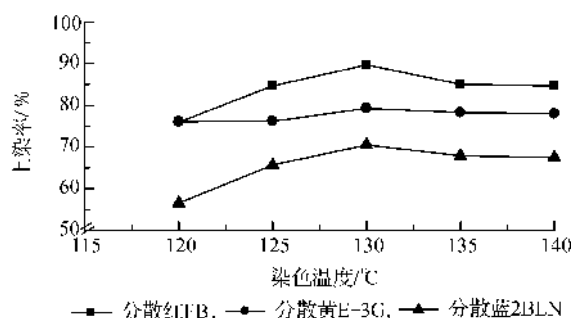


图7 染色温度对染色品上染率的影响

由图7可以看出,随着染色温度的升高,三只分散染料的上染率也随之升高,在染色温度130℃时达到最高上染率,此时再提高染色温度,上染率升高不明显,所以染色温度暂定为130℃。

2.2.1.2 保温时间对染色品上染率的影响

在染色温度130℃、浴比1:50、染液pH值4.5条件下采用分散红FB、分散黄E-3G和分散蓝2BLN 3只分散染料(1%(owf))对可染丙纶针织物进行染色,分别保温0、30、60、90、120 min。保温时间与染色品上染率的关系如图8所示。

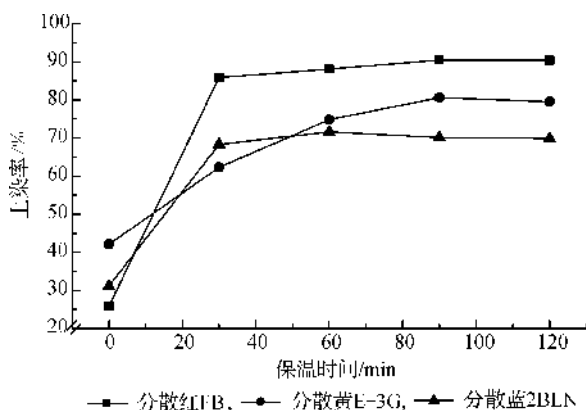


图8 保温时间对染色品上染率的影响

由图8可以看出,保温时间在90 min以下时,3只分散染料的上染率都随着保温时间的增加而升高;但随着时间的进一步延长,3只分散染料的上染率逐渐趋于平衡,所以将保温时间暂定为90 min。

2.2.1.3 染液pH值对染色品上染率的影响

在染色温度130℃、染色时间90 min、浴比1:50条件下采用分散红FB、分散黄E-3G和分散蓝2BLN 3只分散染料(1%(owf))染色,改变染液pH值为4.0、4.5、5.0、5.5、6.0对可染丙纶针织物染色,染液pH值与染色品上染率的关系如图9所示。

由图9可以看出,3只分散染料的上染率随着染液pH值的增大而增大,在染液pH值为4.5时达到最高,此时再增大染液pH值,染料上染率基本趋于平衡。因此,将染液pH值暂定为4.5。

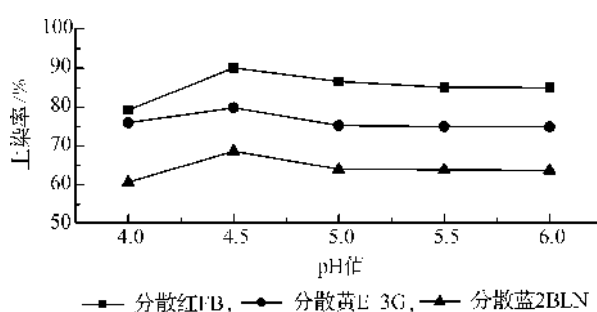


图9 染液pH值对染色品上染率的影响

2.2.1.4 染液浴比对染色品上染率的影响

在染色温度130℃、染色时间90 min、以及pH值4.5的条件下,采用分散红FB、分散黄E-3G和分散蓝2BLN 3只分散染料(1%(owf)),改变染液浴比为1:30、1:40、1:50、1:60、1:70对可染丙纶针织物进行染色。染液浴比与染色品上染率的关系如图10所示。

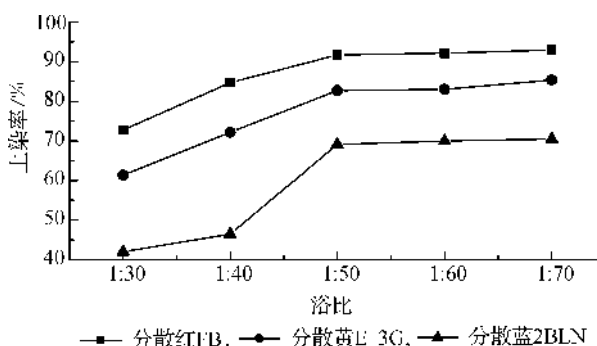


图10 染液浴比对染色品上染率的影响

由图10可以看出,3只分散染料的上染率随染液浴比的增大而增大,当染液浴比达到1:50后,染色品的上染率变化不大,考虑到操作和成本,将浴比暂定为1:50。

2.2.2 正交试验及相关分析

为了进一步优化分散染料可染丙纶的染色工艺,在单因素分析的基础上,以上染率为考察指标,采用温度、时间和pH值三因素三水平进行正交试验。并对试验结果进行极差分析,其结果如表2所示。

由表2可知,在分散红FB、分散黄E-3G和分散蓝2BLN对可染丙纶的染色中,保温时间的极差最大,说明保温时间对上染率的影响最大;其次是染色温度,说明染色温度的影响较小;最后是染液pH值,说明染液pH值对上染率的影响最小。并由K值计算比较得出3只染料上染可染丙纶针织物的较优组合为 $A_2B_2C_2$ 。即最佳工艺为 $T=130^{\circ}\text{C}$ 、 $t=90\text{ min}$ 、 $\text{pH}=4.5$ 、浴比1:50。

表 2 分散染料可染丙纶正交试验—上染率极差分析

序号		温度/℃	时间/min	pH 值	上染率/%		
					分散红 FB	分散黄 E-3G	分散蓝 2BLN
1		125	80	4.0	86.7	78.5	60.3
2		125	90	4.5	84.1	91.1	67.9
3		125	100	5.0	74.1	71.7	65.7
4		130	80	4.5	83.9	81.4	66.4
5		130	90	5.0	86.2	85.5	68.8
6		130	100	4.0	76.9	78.8	63.2
7		135	80	5.0	76.7	81.0	60.1
8		135	90	4.0	84.6	84.7	66.7
9		135	100	4.5	82.3	76.9	66.9
分散红 FB	K_1	81.633	82.433	82.733			
	K_2	82.333	84.967	83.433			
	K_3	81.200	77.767	79.000			
	R_1	1.133	7.200	4.433			
分散黄 E-3G	K_1	80.433	80.300	80.667			
	K_2	81.900	87.100	83.133			
	K_3	80.867	75.800	79.400			
	R_2	1.467	11.300	3.733			
分散蓝 2BLN	K_1	64.633	62.267	63.400			
	K_2	66.133	67.800	67.067			
	K_3	64.567	65.267	64.867			
	R_3	1.566	5.533	3.667			

2.2.3 染色品质指标分析 下染色,并进行质量指标分析,其结果如表 3 所示。

将涤纶、丙纶和可染丙纶针织物在最佳工艺

表 3 染色品的质量指标

织物种类	染料种类	上染率/%	K/S 值	耐洗色牢度/级		耐摩擦色牢度/级		耐光色牢度/级	耐热压色牢度/级
				变色牢度	沾色牢度	干摩	湿摩		
涤纶	分散红 FB	90.2	6.85	4~5	4~5	4~5	4~5	6~7	4
	分散黄 E-3G	93.2	11.87	4~5	4~5	4~5	4~5	6~7	4~5
	分散蓝 2BLN	82.4	7.31	4~5	4~5	4~5	4~5	7	4
丙纶	分散红 FB	5.2	0.63	2~3	2~3	3~4	3	2~3	3
	分散黄 E-3G	3.7	1.94	2~3	2~3	3~4	2~3	4	2~3
	分散蓝 2BLN	1.6	1.17	2~3	2	3	3	2	2~3
可染丙纶	分散红 FB	88.9	6.30	4~5	4~5	4~5	4~5	6	3~4
	分散黄 E-3G	80.2	9.17	4~5	4~5	3~4	4~5	6~7	3
	分散蓝 2BLN	72.5	6.41	4	4~5	4	3~4	5	4~5

由表 3 可以看出,可染丙纶的上染率在 72%以上、K/S 值在 6.3 以上,略低于涤纶,但远高于丙纶,说明分散染料对可染丙纶具有较高的染料利用率。比较可染丙纶和丙纶染色品的色牢度可见,可染丙纶染色品的色牢度较高,其中耐光牢度尤为显著,说明丙纶改性后,改性共聚酯的加入使得分散染料与纤维间能产生次价键作用力,从而提高了各项牢度;比较可染丙纶和涤纶染色品的色牢度可见,可染丙纶染色品的色牢度略低,说明加入改性共聚酯

虽然从一定程度上改变了可染丙纶的化学结构,使其具备涤纶的特征基团,但它的主体部分还是丙纶,故染色品的色牢度仍略低于涤纶。

3 结 论

a) 可染丙纶纤维纵向有沟槽存在;其化学结构中存在着羟基、酯羰基及苯环等涤纶的特征吸收峰。与丙纶纤维相比,可染丙纶纤维的热稳定性和结晶度有所下降,熔融温度变化不明显,但玻璃化温度明

显升高。可染丙纶纤维的断裂强力与模量低于涤纶、丙纶纤维,而断裂伸长率虽低于涤纶纤维,但高于丙纶纤维。

b) 选择分散红 FB、分散黄 E-3G 和分散蓝 2BLN 3 只染料,以 1%(owf)的染料浓度对可染丙纶针织物进行染色。通过单因素及正交试验,确定分散染料染色的最佳工艺为: $T=130^{\circ}\text{C}$ 、 $t=90\text{ min}$ 、 $\text{pH}=4.5$ 、浴比 1:50。经该最佳工艺染色后,分散染料可染丙纶针织物的上染率和色深度较高,各项色牢度虽低于涤纶染色的相关指标,但能满足实际需要。

参考文献:

- [1] Cao X W, He G J, Yin X C, et al. Structure and properties of ultrafast photo-degraded molten polypropylene in a transparent barrel extruder [J]. Polymer Degradation and Stability, 2013, 98(1): 276-280.
- [2] 黄佳梅. 分散染料可染丙纶的染色工艺[J]. 合成纤维工业, 2004, 24(2): 56-57.
- [3] Fryczkowski R, Binia's W, Farana J, et al. Spectroscopic and morphological examination of polypropylene fibres modified with polyaniline[J]. Synthetic Metals, 2004, 145: 195-202.
- [4] 秦艳分. PP/TPEE 共混物的制备及其性能研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2013.
- [5] 丁飞飞, 汪 澜. 低熔点皮芯复合纤维性能分析及分散染料染色工艺研究[J]. 浙江理工大学学报, 2011, 28(1): 21-25.
- [6] 周 斌, 王山英, 张迎东, 等. 电子束辐照接枝法制备改性聚丙烯纤维吸附材料[J]. 天津工业大学学报, 2014, 33(2): 15-18.
- [7] 邵 帅. 丙纶和玻纤织布增强聚丙烯复合材料的研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2013.
- [8] 周邓飞, 蒋佳莉, 巫晓华, 等. PP-TPEE 共混物的结晶性能[J]. 合成纤维, 2014, 43(8): 1-3.
- [9] 张顺花, 黄志超, 程贞娟, 等. 改性聚丙烯纤维的超分子结构与力学性能研究[J]. 纺织学报, 2004, 25(3): 23-25.

Study on Properties and Dyeing Process of Dyeable PP Fiber with Disperse Dyes

CHEN Feng-ming, WANG Lan

(Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In this paper, firstly the surface morphology, chemical structure, crystallinity, thermal, physical and mechanical properties of dyeable PP fiber with disperse dyes were analyzed. On this basis, disperse red FB, disperse yellow E-3G and disperse blue 2BLN were used to dye dyeable PP fiber with disperse dyes. Mono-factor, orthogonal experiments and range analysis were carried out to confirm the optimal dyeing process: $T=130^{\circ}\text{C}$, $t=90\text{ min}$, $\text{pH}=4.5$ and liquor ratio 1:50. The results show that dye-uptake of dyeable PP fiber with disperse dyes under such technology is above 72%, and K/S value exceeds 6.3, but color fastness is 1~1.5 lower than Dacron.

Key words: dyeable PP fiber; disperse dyes; property analysis; dyeing process; color fastness; color depth

(责任编辑: 许惠儿)