

PDMAEMA阳离子改性剂在无盐染色中的应用

姚程健¹, 汪丽君², 蔡再生², 张旭兰³

(1. 上海工程技术大学 纺织服装学院, 上海 201620;

2. 东华大学 化学化工与生物工程学院, 上海 201620;

3. 中国针织工业协会, 北京 100000)

摘要:采用电子转移活化再生催化剂原子转移自由基聚合(ARGET-ATRP)法制备了结构精确, 分子量均匀, 分子量分布较窄的pH值、温度响应型聚合物聚甲基丙烯酸N,N-二甲基氨基乙酯(PDMAEMA), 利用硅烷偶联剂KH-550将纤维素分子和PDMAEMA成功键合, 使聚合物分子接枝在纤维表面, 通过改变染色条件来探究最佳染色工艺。并评价了改性织物的染色性能。结果表明, 与未改性织物的有盐染色相比, 有更好的固色率和匀染性, 解决了染色不匀的问题。

关键词:PDMAEMA; 活性染料; 无盐染色; 棉织物

中图分类号: TS 193

文献标志码: B

文章编号: 1000-4033(2021)11-0031-06

Application of PDMAEMA Cationic Modified Agent in Salt-free Reactive Dyeing

Yao Chengjian¹, Wang Lijun², Cai Zaisheng², Zhang Xulan³

(1. School of Textiles and Fashion, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2. College of Chemistry, Chemical Engineering and Biotechnology, Donghua University, Shanghai 201620, China;

3. China Knitting Industrial Association, Beijing 100000, China)

Abstract: Dual stimuli-responsive PDMAEMA are designed and fabricated via (ARGET-ATRP) which has precise molecular structures and narrow molecular weight distribution. Cationic modified cotton fibers are prepared by multi-chemical cross-linking of cellulose molecules with silane coupling agents KH550 and PDMAEMA. It explores the best dyeing process by changing the dyeing conditions. The dyeing performance of the modified fabric is evaluated and compared with conventional reactive dyeing, the result show that it has better fixation rate, equal or higher than conventional dyeing results with salt.

Key words: PDMAEMA; Reactive Dyes; Salt-free Dyeing; Cotton Fabric

棉纤维是一种环保的天然纤维, 在还没有各种合成纤维时就已经被大量应用于纺织产业, 作为一种天然纤维素纤维, 其主要特点有: 透气清凉、亲肤舒适等, 因此, 具有良好的服用性能, 在纺织品工业中具有不可替代的地位^[1]。活性

染料色谱范围广、工艺简单、价格低廉, 且具有优异的各项色牢度, 一直被用作染棉纤维的主要染料之一^[2-3]。但是活性染料与棉纤维在水溶液中存在静电斥力, 因此在染色过程中需要加入大量无机盐如 NaCl, 染色结束后, 无机盐随废

水一起排放, 盐的加入将导致水质恶化和生态问题^[4-6]。

棉纤维的阳离子改性是目前减小活性染料盐用量的一种有效途径^[7-10]。小分子型改性剂通常稳定性比较差、难保存、用量大、价格高, 而大分子型改性剂可以克服这

作者简介: 姚程健(1992—), 男, 助理实验师, 硕士。主要从事染整技术方面的研究。

些缺点。但由于大分子改性剂分子量分布不匀,且染色初期染料吸附速度过快造成染料难以解吸、移染,从而造成匀染、透染性较差,色光不可控等问题。常规大分子改性剂^[11-13]通过浸轧等物理方式与纤维结合,染色中大分子易脱落,从而带走一部分染料造成上染率降低^[14-16]。

响应型聚合物聚甲基丙烯酸 N,N-二甲基氨基乙酯(PDMAEMA)分子分布均匀,又因其响应性而在染色过程中发生性能变化^[17-19],在染色初期低温酸性条件下大分子链段舒展,末端叔胺基质子化呈现正电性^[20]从而加强对染料分子的吸附,使染料分子可以克服静电斥力而迅速吸附在纤维表面并向纤维内部渗透;而固色阶段加入 Na_2CO_3 使染浴 pH 值变为碱性,大分子链段卷曲,叔胺基去质子化对染料的排斥作用使染料可以在纤维表面缓染、移染,从而克服大分子改性剂匀染性差的问题。

1 试验

1.1 材料及仪器

棉织物:已经前处理过的纯棉针织物(克质量 135 g/m^2)。

试剂:抗坏血酸(AA)、石油醚、乙酸乙酯(EAc)、无水碳酸钠(Na_2CO_3)、溴化铜(CuBr_2)、中性氧化铝、冰醋酸(CH_3COOH)、氯化钠(NaCl)、碱性氧化铝,均购自国药集团化学试剂有限公司; α -溴代异丁酸乙酯(EBiB)、五甲基二乙烯三胺(PMDETA)、3-氨丙基三乙氧基硅烷(KH-550)、甲基丙烯酸-2-二甲氨基乙酯(DMAEMA),均购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

设备:WSB-3A 白度测试智能数字白度计(温州大荣公司)、H10K-S 万能材料试验机(Tinius Olsen 公司)、UV3310 紫外分光光度计(日

本日立公司)、SF600 PSUS 计算机测色配色仪(美国 Datacolor 公司)、YG871 毛细管效应测定仪(南通三思公司)、DLS-1000A 恒温振荡水浴锅(韩国 Daelim Starlet 公司)、PHBJ-260 精密便携式 pH 计(上海雷磁公司)、DF-101S 集热式磁力搅拌器(金坛科析公司)。

1.2 试验过程

1.2.1 PDMAEMA 的合成

利用电子转移活化再生催化剂原子转移自由基聚合(ARGET-ATRP)法,依次在茄型烧瓶中称取催化剂溴化铜(4.4 mg , 0.019 mmol)、还原剂抗坏血酸(34.0 mg , 0.190 mmol),并加入 5 mL 溶剂乙酸乙酯液封防止还原剂被空气氧化,然后在液氮冷冻条件下依次迅速加入单体甲基丙烯酸-2-二甲氨基乙酯(10 mL , 59.340 mmol)、配体五甲基二乙烯三胺($20 \mu\text{L}$, 0.098 mmol)、引发剂 α -溴代异丁酸乙酯($58 \mu\text{L}$, 0.390 mmol),之后用液氮冷冻,抽出瓶内空气至真空状态,解冻充氮气,这个步骤重复 3 次。在氮气保护下,磁力搅拌均匀,恒温

反应 6 h 。样品加入适量乙酸乙酯稀释后过中性氧化铝柱,去除反应液中的金属络合物。去除金属络合物之后的反应液通过旋蒸去除多余的溶剂,然后在冰石油醚中沉降,干燥 24 h ,合成路线如图 1 所示。改变单体 DMAMEA 与引发剂 EBiB 之间的用量,以获得不同聚合度的 PDMAEMA。

1.2.2 改性棉织物的制备

在乙醇:水=2:1 的乙醇水溶液中加入浓度为 5% 的 KH-550 溶液,室温下搅拌 30 min 使其充分水解,将棉织物(溶液与棉织物的质量比为 20:1)浸渍在 3-氨丙基三乙氧基硅烷(KH-550)水溶液中搅拌 1 h ,然后在 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 下烘焙 10 min 。在茄型烧瓶中加入溶剂乙酸乙酯、PDMAEMA、KH-550 棉(溶液与棉织物的质量比为 20:1),以及三乙胺 1 mL ,调节聚合物的浓度,在 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下充分搅拌 4 h ,然后用水和丙酮依次清洗放入 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱中 30 min 以增强 KH-550、PDMAEMA、棉织物之间的键合,反应步骤如图 2 所示。

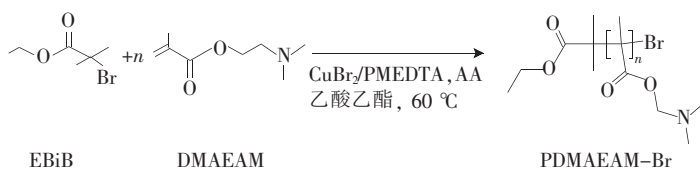


图 1 PDMAEMA-Br 的合成路线

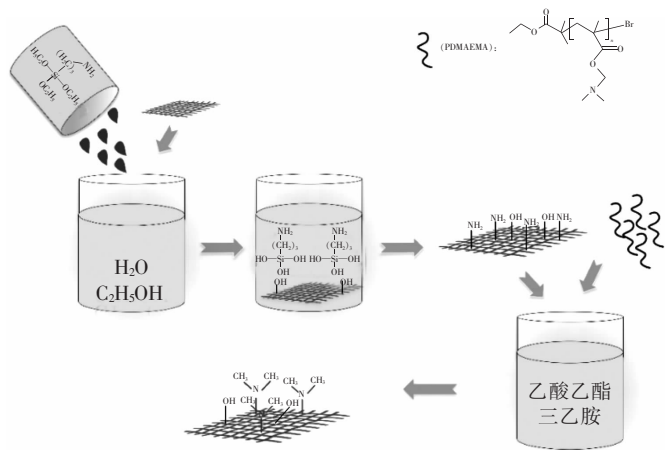


图 2 Cotton-g-PDMAEMA 的制备

1.2.3 活性染料无盐染色工艺

活性染料无盐染色工艺曲线如图 3 所示。

1.3 测试与表征

1.3.1 改性棉织物白度测定

WSB-3A 白度测试智能数字白度计,试样折叠 4 层,测量 3 次取平均值。

1.3.2 改性棉织物强力测定

依据标准 GB/T 3923.1—2013《纺织品 织物拉伸性能 第 1 部分:断裂强力和断裂伸长率的测定(条样法)》,剪取符合规格的棉织物进行测试。

1.3.3 接枝率的测定

反应产率由接枝率 G 表示,如式(1)所示。

$$G=(W_2-W_1)/W_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中: W_2 为反应结束后棉布的质量,g; W_1 为原棉织物的质量,g。

1.3.4 上染率和固色率的测定

测定染色前后的染液在最大吸收波长处的吸光度,计算方式如式(2)、式(3)所示。

上染率 E 的计算公式如式(2)所示。

$$E=(A_0-A_1)/A_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中: A_0 为初始染色吸光度值; A_1 为染色后染液吸光度。

固色率计算如式(3)所示。

$$F=E \times [(A_0-A_1-A_2)/(A_0-A_1)] \quad (3)$$

式中: A_2 为染色布样经过皂洗后染色的吸光度。

1.3.5 K/S 值的测定

用 SF600 PSUS 计算机测色配色仪,在 D_{65} 光源,10°视野下,测试 4 次后取平均值。

1.3.6 匀染性测试

匀染性 S_r 的测试建立在染色深度 K/S 值的基础之上, K/S 值的计算方法如 1.3.5 所示。匀染性 S_r 计算公式如式(4)和式(5)所示。

$$\overline{K/S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (K/S)_i \quad (4)$$

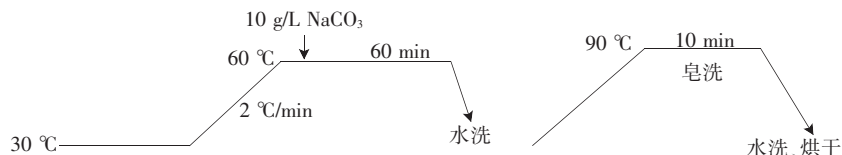


图 3 无盐染色工艺

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(K/S)_i}{\overline{K/S}} - 1 \right]^2}{n-1}} \quad (5)$$

因此,匀染性 S_r 值越小匀染性越好。

2 结果与讨论

2.1 改性棉织物白度测试

PDMAEMA 聚合物固着在棉纤维上需经高温焙烘的过程加固聚合物与纤维之间的交联,聚合物活性基团二甲氨基容易被氧化,降低织物的白度。因此,分别探讨了聚合物分子量和 pH 值对棉织物白度的影响,结果如图 4 所示。

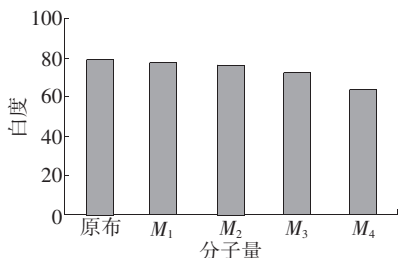


图 4(a) 分子量对织物白度的影响

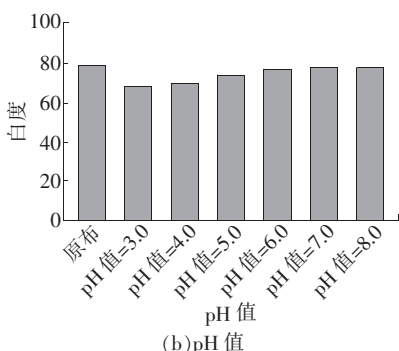


图 4(b) pH 值对织物白度的影响

由图 4a 可见,随着聚合物分子量的增大,织物的白度逐渐降低。原布的白度接近 80 左右,当接枝分子量 $M=12\ 635$ 时,白度接近 79,几乎不发生很大变化;而随着

分子量的增大,织物白度明显降低,当 $M=44\ 876$ 时,白度降低至 62 左右。这可能是由于分子量过大,改性剂高分子链中含有的二甲氨基越多,越容易被氧化的结果。因此,染色所选择的聚合物分子量不宜过大,否则会影响织物白度。由图 4b 可见,在强酸性条件下的白度降低较为明显,这可能是由于强酸条件会对纤维造成损伤,从而引起织物泛黄。而在弱酸至中性条件下,对白度影响不大。此结果对织物染色阶段所调节的最合适 pH 值有重要的指导意义。

2.2 改性织物的强力测试

纺织品的机械性能取决于很多因素,比如纤维的性能、纱线的性能、织物的结构、纤维表面的性质和织物所处的环境等。由于改性,织物的机械性能可能会发生变化,而改性织物的性能高度依赖于聚合物的性质。由于染色条件需要调节染浴 pH 值,染液的酸碱度与织物机械性能密不可分。为了使改性不影响织物的机械强度,需要了解 pH 值对织物机械性能损伤的情况。以下探讨 pH 值对断裂强力和断裂延伸率的影响以及接枝率对织物的影响。结果如图 5 所示。

图 5a 探讨了 pH 值对织物断裂强力和断裂延伸率的影响。由图 5a 可见,在强酸性条件下织物的断裂强力和断裂延伸率都明显降低,在 pH 值为 3.0 时的强力只有 330 N 左右;而在弱酸及中性条件下,纤维强力和断裂延伸率变化不大,有略微的提高;当 pH 值为 8.0 左右时的强力可达 385 N 左右。这是

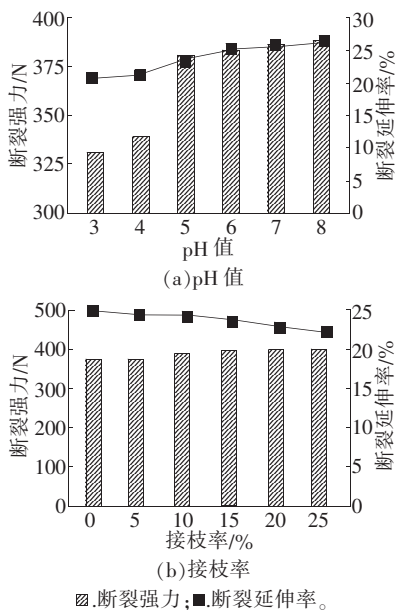


图 5 pH 值和接枝率对织物机械性能的影响

因为在强酸性条件下纤维发生脆损,从而降低了它的断裂强力和断裂延伸率,随着 pH 值的升高,纤维损伤程度降低,纤维的机械性能不会发生太大改变。图 5b 研究了不同的接枝率对织物机械性能的影响。由图 5b 可见,当接枝率为 0,也就是纤维不发生改性时,断裂强力比改性棉织物略低,而断裂延伸率略高于改性后的棉纤维。这是因为硅烷偶联剂将聚合物 PDMAEMA 接枝到织物表面,高聚物包覆在纤维表面,使纤维之间的抱合力增加从而提升其断裂强度;抱合力的增加减少了纤维之间的滑动,使其断裂延伸略有下降。

2.3 改性织物润湿性能测定

织物的润湿性能在染色中有着重要的作用,织物良好的润湿性能,代表着纤维更容易发生溶胀,有利于染料的渗透,为了探讨改性对织物润湿性能的影响,测试了改性和未改性织物的回潮率、毛效,对比结果如表 1 所示。

由表 1 可知,随着接枝率的升高,改性织物的回潮率在 10% 以前

表 1 接枝率对回潮率和毛效的影响

接枝率/%	回潮率/%	30 min 毛效/cm
0	8.3	9.21
7	8.7	9.33
10	9.3	9.78
20	8.0	9.32
25	7.8	9.13

呈现出升高的趋势,由 8.3 逐渐升高至 9.3;而接枝率为 20%、25%,回潮率反而降低,由 9.3 逐渐降低到 7.8 左右。这可能是适量的聚合物可以赋予织物更好的吸湿性能,当接枝率过高,织物表面被大量聚合物分子覆盖,反而会阻碍水分子向纤维内部渗透。测得的毛效数据与回潮率趋势一致,呈现为先升高后减小的趋势,当接枝率由 0 增加到 10%,毛效由 9.21 cm 增加到 9.78 cm;当接枝率由 10% 增加到 25%,毛效反而由 9.78 cm 降低至 9.13 cm。聚合物 PDMAEMA 其分子结构单元中同时存在亲水性的叔胺基、羰基和疏水性的烷基基团,两类基团在空间结构上互相匹配,当接枝率过高时纤维表面大量覆盖聚合物,疏水性烷基链增多影响其吸水性。

2.4 聚合物分子量对染色性能的影响

聚合物的分子量大小对染色结果至关重要,因为分子量的大小决定了织物表面叔胺基的数量,而且大量高分子对棉纤维改性的研究表明,分子量过大,棉织物表面分布的聚合物膜会将染料屏蔽在织物表面从而影响染料向纤维内部渗透,影响透染性。并且大分子分布不匀会使纤维表面各处分布的电荷不匀,从而造成染色匀染性差。凝胶渗透色谱结果表明聚合物的分子量分布较窄,分子量均匀。现讨论不同分子量接枝的改性棉织物的无盐染色效果影响如图 6

所示。

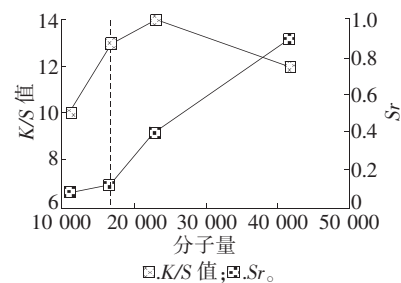


图 6 分子量对 K/S 值和 S_r 的影响

由图 6 可知,随着聚合物分子量的增大,当分子量小于 23 000 时,染色深度 K/S 值逐渐增加,由 10 增加至 14 左右;当分子量大于 23 000 时,染色深度 K/S 值急剧减小,随着分子量的增加 K/S 值由 14 降低为 12 左右。这是因为当分子量增大,所带正电荷越多,对染料分子的吸引力越大,有利于染料的上染。而分子量增大到某一个值,大量染料可能会被聚合物膜挡在纤维表面,向纤维内部渗透的过程变得困难,染料浮在纤维表面后期被皂洗下来,反而降低了上染率。说明并不是分子量越大对染色的效果越好。而在分子量小于 15 000 时有良好的匀染性,随着分子量的增大持续增加,尤其是在分子量大于 23 000 之后急剧增加,匀染性变差。这是因为当分子量过大,对染料的吸附能力过大,造成染料快速上染,从而难以在纤维表面移染、缓染,降低上染率。作为一种大分子交联处理的改性织物,不同于以往研究中高分子改性会降低染色匀染性,以 ARGET-ATRP 法合成的改性剂具有均一的分子量和分子量分布,使织物表面聚合物的分子量分布均匀,染色性能优良。所以本试验后期染色选择聚合度 $n=125$ 的 PDMAEMA ($M_{PDMAEMA125}=16853$)。

2.5 接枝率对染色性能的影响

接枝率与聚合物的分子量大

小一样,对染色结果起着至关重要的作用。接枝率的大小决定了反应后织物上所带聚合物的量。决定了织物上起促染作用的叔胺基的数量。接枝率越大,叔胺基越多,在酸性条件下质子化程度越高,对染料的吸附能力也越好。现讨论在分子量为 16 853 时不同接枝率对染色效果的影响,如图 7 所示。

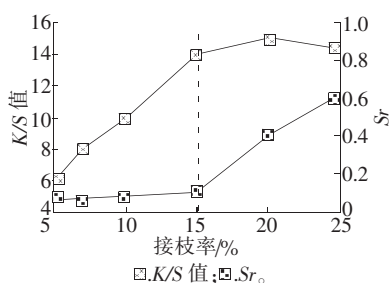


图 7 接枝率对 K/S 值、Sr 的影响

由图 7 可知,K/S 值随着接枝率的增大而持续增大,当 G 小于 15 时,增速较快,由 6 急剧增加到 14 左右; $G=15$ 到 $G=20$ 时增速较慢,由 14 增加到 15 左右;而 G 大于 20 时反而呈现降低的趋势,由 15 降低到 14 左右。这是因为当 G 由 5 增大到 20 时,纤维上所带聚合物的量逐渐增多,叔胺基的量也随之增加,染色初期对带负电染料的吸引力也越大,促进了染料在纤维表面的吸附,提高 K/S 值。但是当 $G=25$,透染性降低,浮在纤维表面的染料在皂洗阶段大量脱落,降低其 K/S 值,此原理与聚合物的分子量对染色效果的影响相似。而匀染性 S_r 的值在 G 的值为 5~15 时较小,证明当 G 小于 15 时,不仅可以获得良好的 K/S 值,并且匀染性优良。当 G 增大到 20、25, S_r 持续增大,匀染性降低。这是因为当纤维表面聚合物分子过多,对染料的吸引力过大促使染料快速上染,染料分子难以在纤维表面进行移染,从而降低了匀染性。同时由于聚合物对染料的吸引力,过多染料被聚

合物吸引,在皂洗阶段加入皂洗剂被聚合物吸引的染料会被洗涤脱落,从而降低了匀染性。

2.6 入染染液 pH 值

由于聚电解质只有在酸性条件下才带正电,入染 pH 值决定了纤维上聚合物叔胺基的质子化程度以及纤维的带正电荷量,进而影响着对染料的吸附力。以活性艳红 M-8B 为例,结果如图 8 所示。

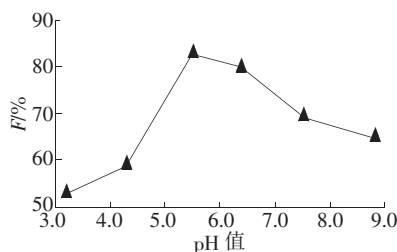


图 8 pH 值对固色率的影响

由图 8 可知,染料的固色率随着染浴 pH 值的升高呈现出先增加后减小的趋势。在强酸性条件下,纤维表面的 Zeta 电位值很高,理应对染料分子的吸引力大,具有更好的固色率,但可能是由于在强酸条件下 PDMAEM 质子化强,染料大多吸附在聚合物和织物表面无法入染纤维内部,固色时染料脱落,所以在 pH 值为 3.3 左右时的 F 只有 53% 左右。而 pH 值在 5.5 之后,固色率降低,这是因为随着 pH 值的升高,纤维表面叔胺基的质子化程度慢慢减弱直至去质子化,纤维表面的正电荷也越来越少直至为零或负值,逐渐减小了对染料分子的吸引力,上染率和固色率都有所降低,当 pH 值接近 9.0 时, F 降低至 68% 左右。因此,选择最佳的入染 pH 值为 5.5 左右。

2.7 加碱的方式

通过设立 3 个对照组,探讨 3 种方式的染色情况。各组加碱流程如图 9 所示,结果如图 10 所示。

由图 10 可以看出,在染色的不同时期加碱,染色的结果各不相同。固色率由大到小依次为 B: 82%,C: 70%,A: 65%。B 和 C 相比,B 在加热之前加入 Na_2CO_3 可以得到最大的固色率,聚合物 PDMAEMA 具有 pH 值、温度响应性能,聚电解质在碱性条件下随温度升高存在相变,呈现明显的 pH 值、温度响应性能。酸性条件下,聚合物发生质子化染料吸附在聚合物和纤维表面,加碱后 pH 值升高发生去质子化,聚合物对染料的离子力减弱,染料脱落发生移染。B 更有利于染料的二次吸附和固色反应。A 染色初期加入 Na_2CO_3 ,上染率最低,PDMAEMA 的叔胺基团随 pH 值的升高发生了去质子化,Zeta 电位值为负,静电斥力阻碍了吸附;此外染料还未与纤维固着就已经水解,从而降低了反应活性。因此,确定的加碱方式为 B。

2.8 无盐染色结果

按照以上方法又依次分别探讨了活性艳蓝 KN-R、活性金黄 K-2RA 的染色最佳工艺。有盐和无盐染色结果如表 2 所示。

由表 2 可知,与未改性织物有盐染色相比,改性棉织物在活性艳红 M-8B、活性艳蓝 KN-R、活性金黄 K-2RA 染色的上染率分别提高了 9.5%、7.3%、5.0%,这说明经过改性以后,纤维上染料吸附量明显

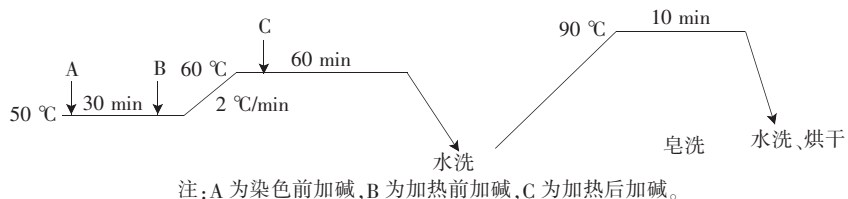


图 9 加碱方式流程图

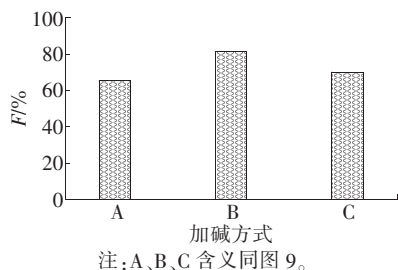


图 10 加碱方式对固色率的影响

增加,改性纤维减小了染料与纤维之间的静电斥力。且 3 种染料 F 分别提高了 28.6%、10.6%、22.9%, K/S 值分别提高了 28.7%、31.0%、36.0%,说明活性染料利用率提高。值得注意的是,改性织物的染色不匀度较小,不同于常规大分子改性纤维造成的不匀度增加的问题。这是因为:其一,由 ARGET-ATRP 法合成的聚合物分子量均匀,可以使处理在织物上各处的分子量较均匀,对染料的吸附能力相对均匀;其二,织物表面聚电解质在染色阶段、固色阶段不同 pH 值条件下所带电荷不同,之前的 Zeta 电位结果表明,在染色初期的酸性条件下织物带正电,增加了吸附量。而后期由于加入 Na_2CO_3 影响了 pH 值,聚电解质叔胺基的去质子化慢慢降低对染料的吸引力,避免了染料因吸引力过大造成的快速上染的问题,使改性织物具备了缓染的作用,因此改良了大分子改性剂匀染性差的缺点。

3 结论

3.1 采用自制 PDMAEMA,通过接枝法对棉织物进行阳离子化改性处理,接枝织物具有良好的润湿性,纤维物理性能几乎不受影响。

3.2 聚合物分子量为 15 000 左右,接枝率为 15%时具有良好的色深和匀染性,对改性织物的染色工艺进行了优化,以活性艳红 M-8B 为例,最佳的条件为:pH 值=5.5,50℃入染,60℃固色, Na_2CO_3 在升温

表 2 改性前后织物染色结果对比

染料	项目	$E/\%$	$R/\%$	$F/\%$	K/S 值	S_r
活性艳红 M-8B	改性	93.9	89.9	84.5	13.9	0.22
	未改性	85.7	76.6	65.7	10.8	0.28
活性艳蓝 KN-R	改性	88.8	85.1	75.6	12.5	0.27
	未改性	78.2	82.9	64.8	9.5	0.36
活性金黄 K-2RA	改性	87.2	78.1	68.1	11.7	0.30
	未改性	83.7	66.2	55.4	8.6	0.33

前加入,与未改性织物的有盐染色相比,有更好的固色率和匀染性。

参考文献

- [1]房宽峻,纪立军,张建祥,等.棉针织物和纤维的活性染料无盐染色[J].印染,2017,43(12):24-27.
- [2]舒大武.活性染料无盐染色关键技术[J].纺织科学研究,2018(7):47.
- [3]范云丽,徐华凤,王雪燕.活性染料无盐和低盐染色研究进展[J].成都纺织高等专科学校学报,2016,33(2):143-147.
- [4]康宝祥,王丽娜.2014 年中国染料行业经济运行情况分析[J].精细与专用化学品,2015(4):6-16.
- [5]范雪荣,何婷蓉.提高棉针织物活性染料深色染色的染料利用率探讨[J].纺织学报,1993(4):31-35.
- [6]谢孔良,孙燕.活性染料无盐染色技术研究进展[J].纺织导报,2005(7):78-82,95.
- [7]刘元军,王雪燕,孙伟.改性棉织物活性染料无盐染色效果评价[J].针织工业,2011(10):25-27,71.
- [8]SRIKLKIT K,张子涛.棉用阳离子化活性染料无盐染色[J].国外纺织技术,2001(6):34-38.
- [9]徐小军,孙戒.新型阳离子活性染料的合成及染色性能研究[J].染料与染色,2017,54(5):15-18.
- [10]高俊,王雪燕.改性苕麻织物活性染料染色性能研究[J].纺织导报,2015(8):82-85.
- [11]RUPIN M.Dyeing with direct and fiber reactive dyes[J].Textile Chemist & Colorist,1976,8(9):54-58.
- [12]向楠.棉纤维的精练漂白与改性一浴法处理及在无盐染色中应用研究

[D].大连:大连理工大学,2016.

[13]SEONG H,KO S.Synthesis,application and evaluation of cationising agents for cellulosic fibres[J].Journal of the Society of Dyers and Colourists,1998,114(4):124-9.

[14]CAI Y,PAILTHORPE M T,DAVID S K.A new method for improving the dyeability of cotton with reactive dyes[J].Text Res J,1999,69(6):440.

[15]BLACKBURN R S,BURKINSHAW S M.A greener approach to cotton dyeings with excellent wash fastness[J].Green Chem,2002,4(1):47-52.

[16]ZHANG F,CHEN Y,LIN H.Synthesis of an amino-terminated hyperbranched polymer and its application in reactive dyeing on cotton as a salt-free dyeing auxiliary[J].Coloration Technology,2007,123(6):351.

[17]OKANO T.Biorelated polymers and gels:controlled release and applications in biomedical engineering[M].New York:cademic,1998.

[18]ALARCON C D H,PENNADAM S,ALEXANDER C.Stimuli responsive polymers for biomedical applications[J].Chemical Society Reviews,2005,34(3):276.

[19]GIL E S,HUDSON S M.Stimuli-responsive polymers and their bioconjugates[J].Progress in Polymer Science,2004,29(12):1173.

[20]张旭霞.PDMAEMA-基环境响应型两嵌段共聚物的合成及其性质研究[D].上海:华东理工大学,2013.

收稿日期 2021 年 7 月 6 日