

## 无水低温条件下的全棉毛巾柔软整理

蒲冬洁<sup>a</sup>, 钟 齐<sup>a,b</sup>, 王际平<sup>a,b</sup>

(浙江理工大学, a. 先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室; b. 生态染整技术教育部工程研究中心, 杭州 310018)

**摘 要:** 为解决传统水浴浸渍法柔软整理中柔软剂利用率低和水污染的问题, 选用新型环保介质十甲基环五硅氧烷(D5)代替水作为整理的介质, 制备了柔软剂/D5 悬浮体系; 采用紫外-可见光吸收光谱(UV-Vis spectroscopy)定量表征了在全棉毛巾浸渍法柔软整理过程中毛巾上柔软剂的吸附率; 并以柔软剂吸附率为指标, 研究了整理前的织物带水率、整理温度和时间对柔软剂吸附率的影响。在此基础上, 对比分析了其与传统水浴浸渍法柔软整理的柔软剂吸附率、试样柔软性、整理工艺和整理均匀性的差异。结果表明: 柔软剂/D5 悬浮体系可大幅提高浸渍法柔软整理中的柔软剂利用率(接近 100%), 且能耗降低, 无废水污染, 达到节能减排、生态环保的目标。

**关键词:** 无水; 低温; D5; 柔软整理; 棉织物

**中图分类号:** TS195.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1673-3851 (2016) 03-0327-06      **引用页码:** 050101

### 0 引 言

随着人们生活水平的提高, 对于日常生活中的纺织品的要求不再仅仅停留于基本的保暖, 人们更希望其具有良好的舒适性。因此, 纺织染整行业常应用柔软剂对织物进行柔软整理, 使织物具有较持久的滑爽、柔软的手感, 进一步提高衣物的品质。目前传统的全棉毛巾浸渍法柔软整理存在着明显的问题: a) 浸渍法柔软整理通常以水为介质, 柔软剂利用率低、废水污染问题严重。柔软整理后, 仍有 30% 左右的柔软剂残留在水中, 不仅造成柔软剂的浪费, 而且严重影响了生态环境的健康发展。据统计, 染整工业最大的污染为水污染, 其产生的废水量占到纺织工业排放废水总量的 80% 左右<sup>[1]</sup>。b) 浸渍法柔软整理一般在 40~50 °C 进行, 这就需要先要将整理液升温, 而后持续对其进行加热, 结果造成了能源的浪费。而随着国内外对生态环境、节能减排的日益重视, 研发新型低温无水浸渍法柔软整理技术, 能够很好地解决上述水污染和能源消耗的问题。而在此基础上, 如果能够同时提高柔软剂的利用率, 则更能够达到事半功倍的效果。而在研发新型低温无水浸渍法柔软整理

的过程中, 如何寻找一种合适的环保介质, 使其能够满足上述的要求, 已成为研发工作的关键。

一直以来, 关于采用其他非水介质代替水作为织物后整理介质的研究尚鲜有报道。而在近年的研究报告中, 十甲基环五硅氧烷(Decamethyl cyclopentasiloxane, D5)被证明是一种生态环保型介质<sup>[2-4]</sup>, 对人体无毒无害, 目前已被广泛用在化妆品和人体护理产品中<sup>[4-5]</sup>。同时, D5 亦可作为载体或基础物质<sup>[6-8]</sup>。例如, D5 可作为染色<sup>[9-11]</sup>和皂洗<sup>[12]</sup>的介质。以染色为例, 由于 D5 具有油性, 故染料与纤维的亲合力优于染料与 D5 的亲合力, 这使得在染液与纤维碰撞的过程中, 染料易于与纤维结合, 所以能够使染色取得优异的效果。但是迄今为止, 关于 D5 作为织物后整理介质的研究目前鲜有报道。本文拟借鉴非水介质 D5 可作为染色、皂洗介质的思路, 利用脂肪酰胺类柔软剂与棉纤维具有良好的亲和性、同时与 D5 亲和性差的特点, 采用 D5 作为浸渍法柔软整理的介质, 制备柔软剂/D5 悬浮体系, 优选主要整理工艺参数, 以期初步建立柔软剂/D5 悬浮体系的最佳整理工艺, 提高整理剂的利用率, 同时减少废水排放和能源消耗, 实现染整工艺的生态化。

收稿日期: 2015-07-24

作者简介: 蒲冬洁(1989-), 女, 河南开封人, 硕士研究生, 主要从事生态染整技术的开发及应用方面的研究。

通信作者: 王际平, E-mail: jipingwanghz@gmail.com

## 1 实验

### 1.1 材料与设备

实验材料:100%全棉毛巾(漂白后未经任何整理工艺,市购),D5(纯度:99.4%,GE Toshiba Silicones 公司),TF449B(纯度:>98%,脂肪酰胺类软片柔软剂,浙江传化股份有限公司),去离子水(电导率 5~6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,实验室提供)。

仪器设备:AB104-N 型分析天平(梅特勒-托利多上海有限公司),QM-3SP04 行星式球磨机(南京大学仪器厂),IKA EUROSTAR 60 数显型悬臂搅拌器(德国 IKA 公司),RJ-350 III 轧车(上海双翼实业公司),DYE-24 可调向式打色机(上海千立自动化设备有限公司),Lambda 35 紫外可见分光光度计(美国 PerkinElmer 公司),PhabrOmeter3 织物评价系统(美国 Nucybertek 公司)。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 柔软剂/D5 悬浮体系的制备

球磨罐中加入 TF449B、D5 和氧化锆磨珠,柔软剂与 D5 的质量之比为 1:10,球磨速度 600 r/min,球磨 3 h,即得到高浓度的柔软剂/D5 悬浮浆。浸渍法柔软整理前,根据毛巾重、柔软剂的用量和浴比取适量高浓度悬浮浆加入至整理介质 D5 中,经搅拌形成柔软剂/D5 悬浮液(悬浮液中未加表面活性剂,30 min 内不分层,试验中现配现用,可保证柔软整理过程中不分层,使得整理过程顺利进行),用于整理试样。

本文中,若无特别说明,柔软剂/D5 悬浮体系柔软整理和传统水浴柔软整理均采用浸渍法,柔软剂用量均为 1%(o. w. f.),同时织物重均为 10 g。

#### 1.2.2 柔软剂/D5 悬浮体系整理基本工艺

整理基本工艺:试样重 10 g,柔软剂用量 1%(o. w. f.),浴比 1:10。整理完毕,取出试样,离心脱 D5,60  $^{\circ}\text{C}$  烘干。整理工艺流程见图 1。

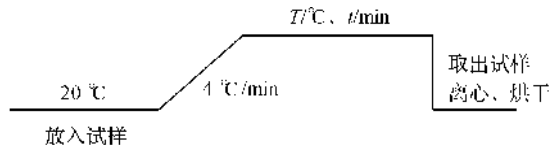


图1 全棉毛巾柔软整理工艺流程

织物带水率优选:由于柔软剂/D5 悬浮液中并不含水,为考察柔软整理过程中体系中的含水量对柔软剂吸附率的影响,试验选择以织物预先浸轧水的方式为体系引入水,并通过调整轧辊的压力使织物在浸渍整理前具有不同的带水率。在优选织物带水率时,初步选择 40  $^{\circ}\text{C}$  条件下整理 30 min,其他整

理条件同上,分别选取干布整理、70%和 100%的织物带水率,以柔软剂的吸附率为指标,优选出合适的织物带水率。

温度与时间的优选:在优选的织物带水率基础上,选取不同的整理温度(20、30、40、50、60、70  $^{\circ}\text{C}$ )与时间(2、5、10、20、30 min)对试样进行柔软整理,以柔软剂的吸附率为指标,优选出合适的整理温度与时间。

#### 1.2.3 传统水浴柔软整理条件

整理液制备:将适量 TF449B 软片在搅拌下加入到室温的水中,继续升温至 60  $^{\circ}\text{C}$ ,待物料全溶后,停止加热,搅拌均匀,冷却至室温后于 500 mL 容量瓶中以去离子水定容,配制成 8 g/L 的母液,备用。柔软整理前,根据织物重、柔软剂的用量和浴比取适量母液加入水中,搅拌均匀后形成整理液用于整理试样。

工艺条件:传统水浴柔软整理的基本工艺见图 1,其中整理温度 40  $^{\circ}\text{C}$ ,整理时间 30 min,柔软剂用量 1%(o. w. f.),浴比 1:10,pH 值 5~6,毛巾重 10 g。整理完毕,取出试样,离心脱水,60  $^{\circ}\text{C}$  烘干。

#### 1.2.4 柔软剂吸附率测定

标准工作曲线绘制:取 1 g 柔软剂与 D5 进行球磨(或用去离子水在 50~60  $^{\circ}\text{C}$  下化料),用 D5(或去离子水)稀释定容,配成 250 mL 母液。分别移取 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4 mL 于 8 个 50 mL 容量瓶中,并用 D5(或去离子水)定容,摇匀。以 D5(或去离子水)做参比,测定该柔软剂在 600 nm 处的透过率(试验发现在此波长下,不同浓度的柔软剂/D5 悬浮液,其透过率差异大,可作为建立标准工作曲线的波长)。以整理液浓度为横坐标,透过率为纵坐标,绘制 TF449B 在 D5(或水)中的标准工作曲线。

试验通过绘制的标准工作曲线可得到整理液中残留的柔软剂浓度,再通过式(1)计算得到柔软剂的利用率:

$$w = (1 - c) \times 100 \quad (1)$$

其中: $w$  为柔软剂的吸附率,%; $c$  为整理液中残留的柔软剂浓度,g/L。

#### 1.2.5 柔软性测试

试验以织物手感指数表征试样的柔软性,织物手感指数则用 PhabrOmeter3 织物评价系统测试的 Curve area 值表示。Curve area 值为测试时试样拉伸曲线的积分面积,该面积表示试样通过测试环时需要的能量;曲线的积分面积越小,表明试样通过测试环时所需要的总能量越小,试样的手感就越柔软<sup>[13]</sup>,即织物手感指数越小,试样越柔软。测试前

将试样放置在恒温恒湿(温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,湿度 $(65\pm 3)\%$ )环境中平衡 24 h。

### 1.2.6 整理均匀性表征

放大布样,按照柔软剂/D5 悬浮体系的优选工艺,选取不同的浴比,对试样进行柔软整理,待整理完毕,均匀选取试样的 6 个不同部位剪样进行柔软性测试,比较试样的手感指数,分析数据的离散度(以标准差表示)。测试前将试样放置在恒温恒湿(温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,湿度 $(65\pm 3)\%$ )环境中平衡 24 h。

## 2 结果与讨论

### 2.1 标准工作曲线的绘制

按照 1.2.4 中所述方法,绘制 TF449B 在 D5 和水中的标准工作曲线,结果如图 2 所示,拟合得到的方程标于图中, $R^2$  为拟合优度。

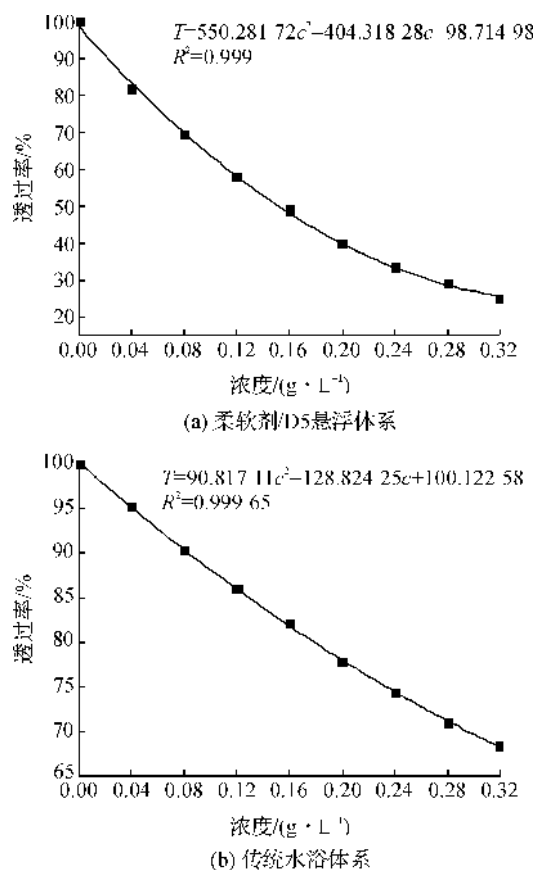


图 2 TF449B 在柔软剂/D5 悬浮体系和水浴中的标准工作曲线

试验发现,柔软剂/D5 悬浮体系整理和传统水浴整理的整理液均是不透明的分散体系,并且随着柔软剂浓度的增加,整理液的透过率会呈现下降的趋势。由图 2 可知,当柔软剂在一定浓度范围内,整理液的透过率与其浓度符合二次函数关系,且曲线

的拟合优度高(0.999),这表明整理液中 TF449B 的浓度可通过测其透过率实现定量表征。

### 2.2 织物带水率对柔软剂吸附率的影响

考虑到棉织物上的含水量可能会对柔软剂在纤维表面的吸附、分散状态有影响,而柔软剂/D5 悬浮体系中不含水,故选用织物预先轧水的方式为整理体系带来不同的含水量,探究试样含水量对柔软剂吸附率的影响,结果如表 1 所示。

表 1  $40^{\circ}\text{C}$  时不同织物带水率对柔软剂吸附率的影响

整理前织物带水率/%	柔软剂吸附率/%
0	89.70
70	88.70
100	77.31

由表 1 可以看出,在温度为  $40^{\circ}\text{C}$  的条件下,当试样干布直接浸渍整理时,柔软剂的吸附率约为 90%;当试样预先浸轧水,并分别以 70% 和 100% 的织物带水率进行整理时,柔软剂的吸附率分别下降至 88% 和 77% 左右。这表明,当试样预先浸轧水,再浸入柔软剂/D5 悬浮体系中进行柔软整理时,织物上带有的水并未有助于柔软剂吸附率的提高,同时织物上带的水量越多,柔软剂的吸附率下降越多。考虑到废水污染和实际应用的问题,若织物干布直接浸渍整理,便可获得较高的柔软剂吸附率,那么织物不预先浸轧水更为节水、经济。综上所述,选取干布直接浸入柔软剂/D5 悬浮体系中进行柔软整理较好,这不仅使柔软剂的利用率达到最大化,更杜绝了废水污染问题,同时整理工艺也更为简便。

### 2.3 温度与时间对柔软剂吸附率的影响

以 2.2 中优选的最佳条件,即选取干布直接浸入柔软剂/D5 悬浮体系中的方式,按照 1.2.2 中柔软剂/D5 悬浮体系的整理基本工艺对试样进行柔软整理,考察不同整理温度与时间下整理后残液的透过率,结果如图 3 所示。

从整理温度的角度分析,在相同的整理时间内,当整理温度为  $20^{\circ}\text{C}$  时,柔软整理后残液的透过率最高,说明此温度下柔软剂的吸附率最大;随着整理温度的升高,残液的透过率明显呈逐渐下降的趋势,这说明柔软剂的利用率随着温度的升高而明显降低。以上实验结果表明,低的温度更有利于柔软剂向纤维表面吸附,故整理温度选择  $20^{\circ}\text{C}$  更有助于提高柔软剂的利用率。

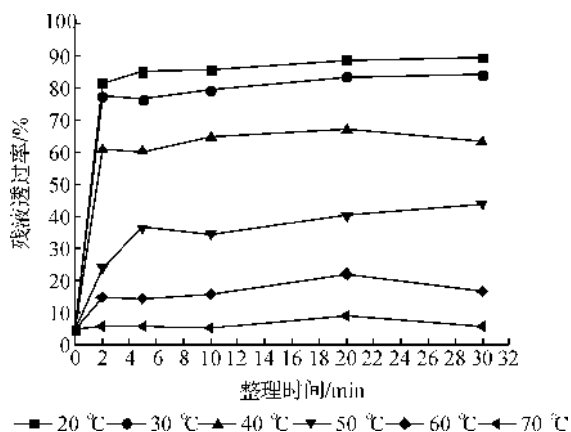


图3 不同整理温度与时间下残液的透过率

从整理时间的角度看,当整理温度相同时,试样保温整理约 2 min 后,整理残液的透过率就达到很高值,说明柔软剂对纤维的吸附速率很快,在较短时间内即可达到较高的利用率。可能的原因是,D5 是一种具有油性的环状硅氧烷,相较于 D5,酰胺类柔软剂 TF449B 与多羟基的棉纤维之间的亲和力更高,因此在整理液循环过程中,TF449B 一旦与织物发生碰撞,便易于凭借二者之间的范德华引力吸附在棉纤维表面。继续延长整理时间至 5 min,残液的透过率有较明显增加,这表明随着整理时间的延长和柔软剂与纤维之间碰撞次数的增加,越来越多的柔软剂吸附在纤维表面,故适当延长时间有助于提高柔软剂的吸附率;当整理时间大于 5 min 后,残液的透过率增加较缓慢,说明此后柔软剂吸附率的增加并不是很显著。综上所述,对于柔软剂/D5 悬浮体系整理技术,最佳的整理条件是 20 °C 条件下整理 5 min 以上。

#### 2.4 与传统水浴浸渍法柔软整理的对比

为更好地说明柔软剂/D5 悬浮体系的整理特点,试验将柔软剂/D5 悬浮体系整理与传统水浴整理就整理工艺条件和柔软剂的吸附率两个方面加以对比。

##### 2.4.1 整理工艺对比

对于柔软剂/D5 悬浮体系,根据 2.2、2.3 对主要工艺参数优化的结果,可以得出其最佳的整理工艺条件,见表 2。

表2 柔软剂/D5 悬浮体系的最佳整理工艺条件

参数	D5 体系
整理前织物带水率/%	0
整理温度/°C	20
整理时间/min	5~10
浴比	1:10

试验以处理 10 g 织物为例,对比了柔软剂/D5 悬浮体系和传统水浴整理的主要工艺参数及耗水量(浴比均为 1:10),结果如表 3 所示。

表3 两种整理方法关于整理温度、时间及耗水量的对比

参数	水浴	D5 体系
整理温度/°C	40	20
整理时间/min	30	5~10
耗水量/g	100	0

由表 3 可以看出,从整理温度的角度分析,传统水浴整理需要在较高的温度(40 °C)下进行,而对于柔软剂/D5 悬浮体系,柔软剂达到最高吸附率时,整理温度仅需 20 °C,这使得整理温度显著下降了 20 °C,实现了低温且柔软剂高利用率的节能整理技术。从整理时间看,柔软剂/D5 悬浮体系是传统方法的 1/6~1/3 左右,明显提高了整理速率。从工艺耗水量的角度看,由于传统水浴浸渍法柔软整理的浴比一般为 1:10,因此以浸渍法进行柔软整理时该方法需要耗费比织物重 10 倍的水量,而柔软剂/D5 悬浮体系整理技术则实现了全程无水参与的清洁生产,整理后残液中的柔软剂含量极少,不仅节约了大量水资源,更极大地降低了水污染。

##### 2.4.2 柔软剂吸附率对比

柔软剂/D5 悬浮体系和传统水浴整理的柔软剂吸附率对比情况如图 4 所示。

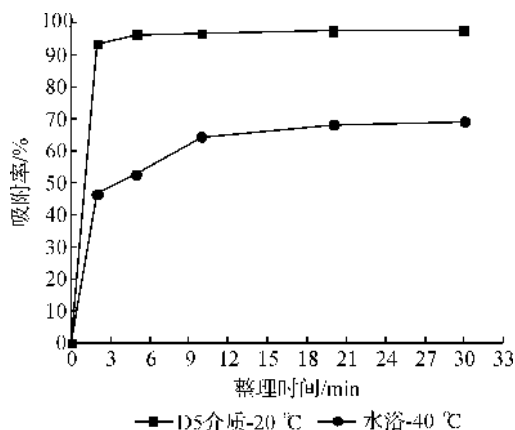


图4 柔软剂/D5 悬浮体系与传统水浴整理不同时间内柔软剂吸附率的对比

由图 4 可知,当柔软剂浓度相同时,在不同的整理时间内,柔软剂/D5 悬浮体系在无水低温条件下达到的柔软剂吸附率几乎达到 100%,显著高于传统水浴整理(70%);且柔软剂的吸附速率较快,其对试样保温整理 2 min 所达到的柔软剂吸附率就显著高于传统水浴整理 30 min 时的柔软剂吸附率。

## 2.5 整理效果的评价

为更全面地表征柔软剂/D5 悬浮体系柔软整理的效果,试验按照优选出的最佳整理工艺(见表2)对试样进行了柔软整理,并讨论分析了试样的整理均匀性及柔软性。

### 2.5.1 整理均匀性评价

为更全面地分析最佳工艺条件下(浴比为1:10)柔软剂/D5 悬浮体系对试样整理的均匀性,试验同时做了浴比1:5和1:15两组对比试验,测试了整理后试样6个不同部位的手感指数,并对测试数据加以分析,结果如图5所示。

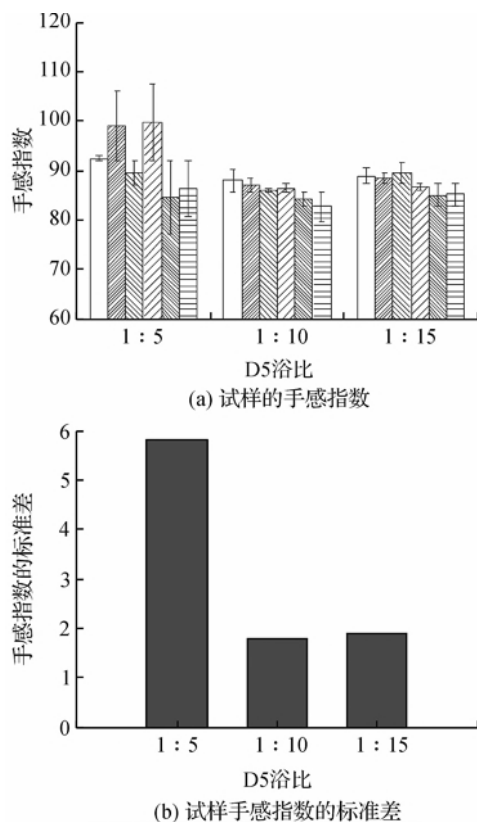


图5 柔软剂/D5 悬浮体系不同浴比整理的试样的均匀性表征

结合图5(a)和(b)可以看出,当浴比为最佳浴比1:10时,试样的手感指数较接近,数据之间的标准差较小,说明在此最佳浴比下,试样的手感指数分布较集中,这表明试样不同部位的柔软性非常接近,即柔软整理均匀性良好,同时也较直观地佐证了1:10确实是柔软剂/D5 悬浮体系的较佳浴比。

分析另外两组对比试验的数据可知,浴比为1:5时试样的手感指数大小不均一,数据之间的标准差较浴比1:10时明显增大,说明浴比为1:5时试样的手感指数分布较离散,这表明试样不同部位的柔软性相差较大,即整理均匀性差。当浴比增大

至1:15时,试样手感指数的与浴比1:10时相差不大,说明当浴比继续增大到1:15时,柔软整理的均匀性并未有明显提高。

以上实验结果表明,在柔软剂/D5 悬浮体系的最佳整理工艺条件下,其对试样的整理均匀性良好。同时也表明,浴比对整理均匀性影响较大:浴比过小,试样整理均匀性差;浴比太大,试样整理均匀性也较好,但耗费了更多的D5,在后续D5的回收阶段势必会造成不必要的能源浪费。因此,在采用柔软剂/D5 悬浮体系对全棉毛巾进行柔软整理时,需选取合适的浴比,即可保证整理的均匀性,又可避免耗费更多的D5,节约能源。

### 2.5.2 试样柔软性评价

试验比较了柔软剂/D5 悬浮体系与传统水浴整理试样的柔软性,以试样的手感指数表征,结果如图6所示。

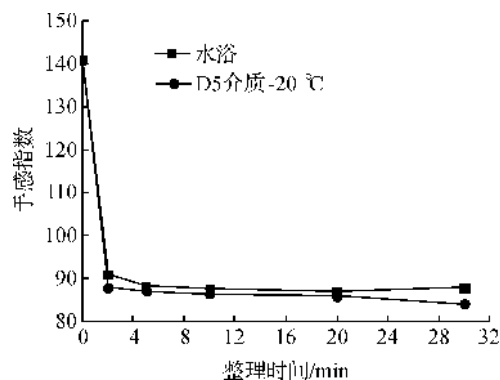


图6 柔软剂/D5 悬浮体系与传统水浴整理试样的手感指数对比

从图6可以看出,对于两种整理方法,处理后试样的手感指数均显著下降,从146下降至92以下。结合1.2.5中所述PhabrOmeter3的测试原理可知,手感指数越小,织物通过测试环所需的总能量越小,试样的柔软性越好,这表明柔软剂/D5 悬浮体系整理可大大提升织物的柔软性;同时,柔软剂/D5 悬浮体系整理后的试样手感指数更低,即试样柔软性更好些,优于传统水浴整理。

## 3 结论

a) 柔软剂/D5 悬浮体系整理技术实现了全程无水参与的清洁生产,整理后无废水产生,大大降低了水污染,不存在传统方式整理后废水难处理的问题。并且D5介质可以回收循环利用,达到生态环保的目标。

b) 与传统水浴整理相比,此整理技术实现了对全棉毛巾的低温柔软整理(整理温度为20℃),明显降低了生产中的能耗,符合节能减排的要求。

c) 柔软剂/D5 悬浮体系整理技术可大幅提高柔软剂的利用率(接近 100%),显著高于传统水浴整理中柔软剂的利用率(70%),减少了资源的浪费。

d) 采用柔软剂/D5 悬浮体系整理的棉织物,整理均匀性良好。并且整理后的棉织物的柔软性也优于传统水浴整理后的棉织物。

#### 参考文献:

- [1] 张力军. 全国重点工业行业污染防治研究报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010: 95.
- [2] JOVANOVIĆ M L, MCMAHON J M, MCNETT D A, et al. In vitro and in vivo percutaneous absorption of  $^{14}\text{C}$ -octamethylcyclotetrasiloxane ( $^{14}\text{C-D}_4$ ) and  $^{14}\text{C}$ -decamethylcyclopentasiloxane( $^{14}\text{C-D}_5$ )[J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2008, 50(2): 239-248.
- [3] BURNS-NAAS L A, MAST R W, MEEKS R G, et al. Inhalation toxicology of decamethylcyclopentasiloxane(D5) following a 3-month nose-only exposure in Fischer 344 Rats [J]. Toxicological Sciences, 1998, 43(2): 230-240.
- [4] NAYLOR D M, STANNETT V T, DEFFIEUX A, et al. The radiation-induced polymerization of dimethylcyclosiloxanes in the liquid state: 3. Copolymerization of  $\text{D}_5$  with  $\text{D}_4$  and  $\text{D}_4$  with  $\text{D}_5$ , reactivities and interpretation[J]. Polymer, 1994, 35(8): 1764-1768.
- [5] BURNS-NAAS L A, MAST R W, KLYKKEN P C, et al. Toxicology and humoral immunity assessment of decamethylcyclopentasiloxane (D5) following a 1-month whole body inhalation exposure in Fischer 344 rats[J]. Toxicological Sciences, 1998, 43(1): 28-38.
- [6] BROWN S L, SILVERMAN B G, BERG W A. Rupture of silicone-gel breast implants: causes, sequelae, and diagnosis[J]. Lancet, 1997, 350(9090): 1531-1537.
- [7] FALANY C N, LI G. Effects of age and pregnancy on cytochrome P450 induction by octamethyltetraacyclosiloxane in female Sprague-Dawley rats[J]. Journal of Biochemical & Molecular Toxicology, 2005, 19(2): 129-138.
- [8] CHANDRAMOULI B, KAMENS R M. The photochemical formation and gas-particle partitioning of oxidation products of decamethyl cyclopentasiloxane and decamethyl tetrasiloxane in the atmosphere [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35(1): 87-95.
- [9] 缪华丽, 李永强, 付承臣, 等. 棉织物的活性染料/D5 悬浮体系染色动力学研究[J]. 纺织学报, 2013, 34(5): 76-81.
- [10] 缪华丽, 付承臣, 李永强, 等. 活性染料/D5 悬浮体系应用于蚕丝织物染色的研究[J]. 蚕业科学, 2012, 38(6): 1051-1057.
- [11] FU C, WANG J, SHAO J, et al. A non-aqueous dyeing process of reactive dye on cotton[J]. Journal of the Textile Institute, 2015, 106(2): 152-161.
- [12] 陶然, 付承臣, 吴浩, 等. 活性染料染色低水介质皂洗的可行性研究[J]. 纺织学报, 2015, 36(1): 106-109.
- [13] 屠吉利, 刘今强. 基于 PhabrOmeter 的毛巾织物手感风格评价[J]. 纺织学报, 2013, 34(8): 48-51.

## Anhydrous Softening Finishing of Cotton Towel at Low Temperature

PU Dongjie<sup>a</sup>, ZHONG Qi<sup>a,b</sup>, WANG Jiping<sup>a,b</sup>

(a. Engineering Research Center for Eco-Dyeing & Finishing of Textiles, Ministry of Education;  
b. Key Laboratory of Advanced Textile Materials & Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In this paper, Softener/D5 suspension system was made by using Decamethyl cyclopentasiloxane (D5), a new environmentally friendly medium, as the medium in softening finishing to overcome the low utilization of softener and severe water pollution in the traditional softening finishing. The absorption rate of softener on the towel was quantitatively characterized with UV-Vis spectroscopy during the processing of softening finishing of cotton towel by means of impregnation method. Besides, it studied the influences of fabric water content, finishing temperature and time before finishing on the absorption rate of softener by taking the absorption rate of softener as an indicator. Based on this, the differences in adsorption rate of softener, the softness of samples, the finishing process and the uniformity of softening finishing between this method and traditional impregnation method were analyzed and compared. The results indicate that the softener/D5 suspension system is able to significantly enhance the utilization (close to 100%) of softener in softening finishing with the impregnation method. In addition, it reduces the consumption of energy and has no wastewater pollution so it can attain the goals of energy conservation, emission reduction and eco-environment protection.

**Key words:** anhydrous; low temperature; D5; softening finishing; cotton fabric

(责任编辑: 许惠儿)