



## 无溶剂聚醚氨基嵌段共聚硅油柔顺剂的制备及其在羊绒织物上的应用

王娟<sup>a,b</sup>, 任琳琳<sup>a,b</sup>, 蒋吾伟<sup>a,b</sup>, 邢亚杰<sup>a,b</sup>, 李永强<sup>a,b,c</sup>

(浙江理工大学, a. 纺织科学与工程学院; b. 先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室;

c. 生态染整技术教育部工程研究中心, 杭州 310018)

**摘要:** 以自制端环氧聚醚硅油和聚醚胺 D-230 为反应原料, 在不添加溶剂的情况下制备聚醚氨基嵌段共聚硅油, 并将其用于羊绒织物的后整理。研究反应温度、反应时间和反应物摩尔比对产物乳化性能的影响, 通过傅里叶红外光谱、热重分析仪、纳米粒度仪和场发射扫描电子显微镜对聚醚氨基嵌段共聚硅油柔顺剂进行结构表征和形貌分析, 并对其整理后羊绒织物的白度、亲水性及相对手感进行测试, 结果表明: 无溶剂聚醚氨基嵌段共聚硅油的最佳合成工艺为: 当反应温度为 80 ℃, 反应时间为 6 h, 自制端环氧聚醚硅油 ( $M_w=8000$ ) 与聚醚胺 D-230 摩尔比为 1:1.4 时, 所制聚醚氨基嵌段共聚硅油环氧值最低; 乳液带有蓝光, 平均粒径为 56.26 nm, 粒径分散指数为 0.046; 经聚醚氨基嵌段共聚硅油乳液整理后的羊绒织物的亲水性和柔软性提高, 白度基本不变。该嵌段共聚硅油具有优异的综合性能, 具有重要的实用价值。

**关键词:** 无溶剂; 聚醚氨基嵌段共聚硅油; 乳化性能; 柔顺剂; 羊绒织物; 应用性能

中图分类号: TQ317.9

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2021)03-0185-06

## Preparation of solvent-free polyether amino block copolymer silicone oil softener and its application on fleece fabrics

WANG Juan<sup>a,b</sup>, REN Linlin<sup>a,b</sup>, JIANG Wuwei<sup>a,b</sup>, XING Yajie<sup>a,b</sup>, LI Yongqiang<sup>a,b,c</sup>

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

**Abstract:** Using self-made epoxy-terminated polyether silicone oil and polyether amine D-230 as raw materials, a solvent-free polyether amino block copolymer silicone oil is prepared without adding any solvent and it is used for the finishing of fleece fabrics. The effects of reaction temperature, reaction time, and molar ratio of reactants on the emulsification properties of the product were studied. Fourier infrared spectroscopy, thermogravimetric analyzer, nanoparticle size analyzer, and field emission scanning electron microscope were used to characterize the structure and analyze the morphology of polyether amino block copolymer silicone oil softener, and the whiteness, hydrophilicity and relative hand feel of finished fleece fabric were tested. The research results showed that the best synthesis process of solvent-free polyether amino block copolymer silicone oil was: when the reaction temperature was 80 ℃, the reaction time is 6 h, the molar ratio of self-made epoxy-terminated polyether silicone oil ( $M_w=8000$ ) and polyether amine D-230 was 1:1.4, the prepared polyether amino block copolymer silicone oil had the lowest epoxy value; the

收稿日期: 2020-11-16 网络出版日期: 2021-01-05

基金项目: 浙江省科技厅一般公益项目 (LGG20E030007); 国家自然科学基金项目 (51773181, 51403189)

作者简介: 王娟 (1995-), 女, 安徽安庆人, 硕士研究生, 主要从事绿色染整新技术方面的研究。

通信作者: 李永强, E-mail: yqqli@163.com

emulsion was a clear and transparent liquid with stable properties and blue light with an average particle size of 56.26 nm and a particle size dispersion index of 0.046. The hydrophilicity and softness of the subsequent fleece fabric finished by polyether amino block copolymer silicone oil emulsion were improved, and the whiteness was basically unchanged. The proposed block copolymer silicone oil has excellent comprehensive properties and important practical application value.

**Key words:** solvent-free; polyether amino block copolymer silicone oil; emulsification property; softener; fleece fabric; application performance

## 0 引言

近年来,各类改性有机硅柔顺剂发展迅速,氨基硅油及氨基改性硅油因其对织物柔软性有显著的提升效果,成为市场上广泛使用的织物后整理剂<sup>[1]</sup>,但是其储存稳定性较差,还存在泛黄、色变及回复性差等缺点<sup>[2]</sup>,在整理过程中会影响织物外观进而降低其市场价值<sup>[3-4]</sup>。随着消费者对积极舒适生活方式的追求,功能性纺织品市场快速发展,开发新型氨基硅油产品来取代传统的氨基硅油产品已变得越来越紧迫,急需设计合成出各种改性硅油以满足人们对织物的柔软性、白度、亲水性和润湿性的需要<sup>[5]</sup>。

嵌段型聚醚/氨基改性有机硅是在有机硅氧烷链段上同时引入聚醚亲水链段和氨基柔软链段,从而赋予织物亲水性和柔软性,且不易导致织物黄变<sup>[6-7]</sup>,因而引起了研究者的关注。然而,现有嵌段型聚醚/氨基改性有机硅的合成工艺路线复杂,有机硅链段和聚醚链段的相容性差<sup>[8]</sup>,而且为提高两种链段的相容性和反应的可控性,在制备过程中往往需要使用大量有机溶剂来确保反应能完全进行<sup>[9-12]</sup>。目前市面上所使用的嵌段型聚醚/氨基改性有机硅多采用异丙醇或者乙二醇单丁醚作为溶剂的嵌段共聚硅油,一方面该溶剂挥发会对人体造成一定的危害;另一方面大量溶剂的使用也给硅油运输及储存带来了诸多不便<sup>[13-14]</sup>。

针对上述问题,本文在不添加溶剂的情况下,将含亲水链段的自制端环氧聚醚与低胺值的聚醚胺 D-230 合成无溶剂聚醚氨基嵌段共聚硅油,通过改变原料配比、反应时间和反应温度等因素,合成性能优异、性质稳定的无溶剂聚醚氨基嵌段共聚硅油柔顺剂,为羊绒织物的功能性后整理提供基础。

## 1 实验部分

### 1.1 主要试剂与仪器

织物:平针组织羊绒织物(线密度 45.9 tex×2,浙江雀屏纺织新材料股份有限公司)。

试剂:端环氧聚醚硅油( $M_w=8000$ ,工业级,浙江雀屏纺织新材料股份有限公司),聚醚胺 D-230(工业级,浙江雀屏纺织新材料股份有限公司),脂肪醇聚氧乙烯醚 AEO-3(工业级,浙江雀屏纺织新材料股份有限公司),冰醋酸(分析纯,杭州高晶精细化工有限公司),盐酸(HCl,分析纯 36.5%,杭州高晶精细化工有限公司),丙酮(分析纯,浙江三鹰化学试剂有限公司)。

仪器:IKA T50 digital 型搅拌器(德国 IKA 公司),VERTEX 70 型傅里叶变换红外光谱测试(德国布鲁克光谱仪器公司),ULTRA55 型场发射扫描电子显微镜(德国 Carlzeiss 公司),Pyris1 型热重分析仪(PerkinElmer 公司),Nano ZS90 纳米粒度电位分析仪(英国 Malvern 公司),SC-80 白度仪(北京康光仪器有限公司),Nucybertek Phabromet 智能风格仪(美国 Nucybertek 公司)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 聚醚氨基嵌段共聚硅油的制备

在装有搅拌器、温度计的三口烧瓶中加入一定量的自制端环氧聚醚硅油( $M_w=8000$ ),再加入适量聚醚胺 D-230 搅拌均匀,升温至 80 °C 保温 6 h 即可得无溶剂聚醚氨基嵌段共聚硅油,合成路线如图 1 所示。

#### 1.2.2 硅油柔顺剂的制备

取一定量的聚醚氨基嵌段共聚硅油加入适量的乳化剂 AEO-3,机械搅拌混合均匀,用冰醋酸调节体系 pH 至中性,在搅拌过程中缓慢滴加适量蒸馏水,得到澄清透明泛蓝光的聚醚氨基嵌段共聚硅油乳液。

#### 1.2.3 整理工艺

二浸二轧(浸渍时间 20 min,轧余率 80%)→预烘(120 °C×3 min)→烘焙(180 °C×90 s)→室温回潮 24 h 得到样品。

### 1.3 测试与表征

#### 1.3.1 聚醚氨基嵌段共聚硅油的性能测试

采用溴化钾压片涂膜法制样,测试范围 4000~400  $\text{cm}^{-1}$ ,扫描次数 32 次,分辨率 4  $\text{cm}^{-1}$ ;采用

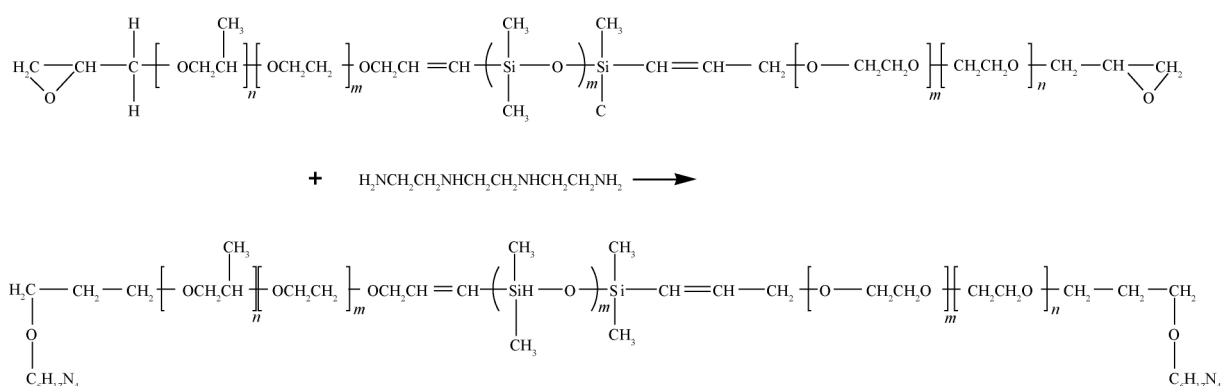


图1 聚醚氨基嵌段共聚硅油合成路线

Pyris1 型热重分析仪对硅油的热稳定性进行测试,测试范围为 0~800 °C,升温速率为 20 °C/min。

采用盐酸-丙酮法<sup>[15-16]</sup>测定聚醚氨基嵌段共聚硅油的环氧值,在锥形瓶中称取约 1 g 硅油,加入 30 mL 三氯甲烷溶液使其溶解,再加入 20 mL 配好的盐酸-丙酮溶液(盐酸与丙酮的体积比为 1:40),充分摇匀后密封暗处静置 30 min,加入 2~3 滴酚酞指示剂,用 0.1 mol/L 的氢氧化钠标准溶液进行滴定,直至溶液变为红色时停止滴定,记录样品消耗氢氧化钠溶液的体积  $V_1$  (mL);空白测试则是不添加样品操作步骤相同,空白实验消耗氢氧化钠体积记为  $V_0$  (mL),按式(1)计算环氧值  $E$ :

$$E = \frac{(V_0 - V_1) \times C}{10m} \quad (1)$$

其中: $C$  为氢氧化钠标准溶液的浓度, mol/L,  $m$  为称取硅油的质量, g。

根据聚醚氨基嵌段共聚硅油反应前后环氧值的变化来计算产率,计算方法为:

$$\alpha / \% = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100 \quad (2)$$

其中: $E_1$  为自制端环氧聚醚硅油的环氧值; $E_2$  为聚醚氨基嵌段共聚硅油的环氧值; $\alpha$  为反应产率。

取一定量乳化后的乳液用蒸馏水稀释 500 倍,用激光纳米粒度仪测定;用笔式酸度计测定乳液的 pH 值;将密封好的乳液分别放置在 0 °C 的冰箱及 100 °C 的恒温干燥箱中静置 24 h 后取出,待其恢复室温后观察乳液形态;分别用 HAc 和 NaOH 将配置好的柔顺剂乳液的 pH 值调节至 2 和 13,静置一段时间后观察乳液形态;将乳液置于离心式管中在高速离心机中以 3000 r/min 离心 20 min 后观察乳液形态。聚醚氨基嵌段共聚硅油乳液在以上测试中若不发生破乳、漂油、分层等现象,则稳定性良好。

### 1.3.2 聚醚氨基嵌段共聚硅油的应用性能表征

利用智能风格仪测定羊绒织物的相对手感值

(硬挺度、柔软度、顺滑度);采用滴水法测定织物的亲水性,即用标准滴管从距离织物 2 cm 的高处向铺展在水平表面上的织物表面滴一滴水,记录这滴水在静态情况下被织物完全吸收所需的时间;用荧光白度仪测定织物的白度,测试 5 次取平均值;通过场发射扫描电子显微镜(FESEM)观察未处理和处理后的羊绒织物的表面形貌,并用 X 射线能谱分析(EDS)分析纤维表面的元素组成。

## 2 结果与讨论

### 2.1 聚醚氨基嵌段共聚硅油的性能分析

#### 2.1.1 红外光谱分析

聚醚氨基嵌段共聚硅油的红外光谱图如图 2 所示。从图 2 中可以看出,1020~1100  $\text{cm}^{-1}$  处的双肩峰是由 Si—O—Si 键的伸缩振动引起的,在 1410、1450、2910、2970  $\text{cm}^{-1}$  波数处均出现了一  $\text{CH}_3$  和 — $\text{CH}_2$ — 上 C—H 键的伸缩振动和弯曲振动峰,1260  $\text{cm}^{-1}$  波数处是 Si— $\text{CH}_2$  和 Si— $\text{CH}_3$  中 C—H 键的弯曲振动峰,以上均为聚二甲基硅氧烷链段的特征吸收峰。而在 3440  $\text{cm}^{-1}$  波数处的吸收峰为氨解开环反应后产生的伯胺 N—H 和羟基 O—H 的伸缩振动峰,表明反应成功合成了聚醚氨基嵌段共聚硅油。

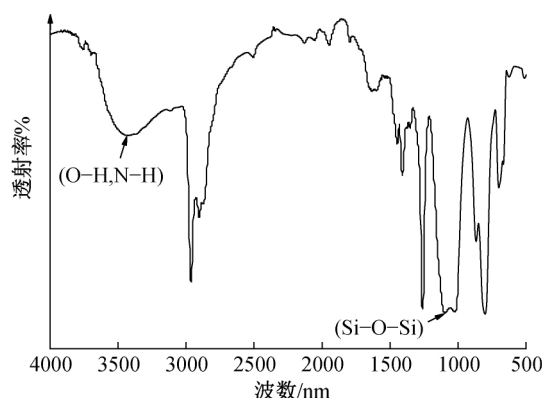


图2 聚醚氨基嵌段共聚硅油的红外光谱

### 2.1.2 热重分析

经聚醚氨基嵌段共聚硅油柔顺剂处理的羊绒织物需要在 180 ℃ 下焙烘固化,因此,聚醚氨基嵌段共聚硅油需要有良好的热稳定性。图 3 是聚醚氨基嵌段共聚硅油的热重分析图。从图 3 中可以看出,聚醚氨基嵌段共聚硅油在 350 ℃ 左右开始分解,表现出良好的热稳定性,这说明聚醚氨基嵌段共聚硅油可以在高温下应用于羊绒织物上。

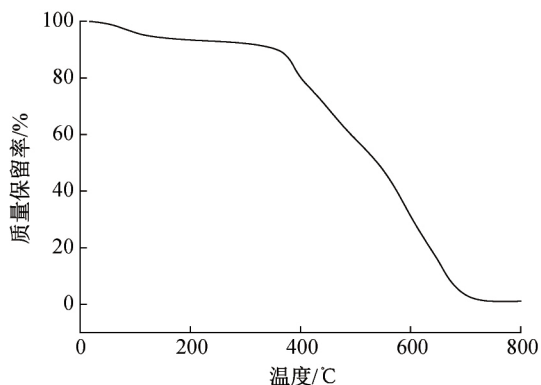


图 3 聚醚氨基嵌段共聚硅油的热重曲线

### 2.1.3 反应物摩尔比对聚醚氨基嵌段共聚硅油及其乳液性能的影响

以自制端环氧聚醚硅油( $M_w=8000$ )、聚醚胺 D-230 为反应原料,反应温度 80 ℃,反应时间为 6 h,考察反应物摩尔比对聚醚氨基嵌段共聚硅油乳化效果的影响,结果见表 1。

表 1 反应物摩尔比对聚醚氨基嵌段共聚硅油及其乳液性能影响

序号	端环氧硅油分子	端环氧硅油与聚醚胺的摩尔比	环氧值/ ( $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	产率/ %	乳液外观
1	8000	1:1.2	0.0033	86.2	乳白色半透明,静置不分层
2	8000	1:1.4	0.0018	93.2	带蓝光无色澄清透明,静置不分层
3	8000	1:1.6	0.0024	91.4	乳白色半透明略发蓝光,静置分层

由表 1 中结果可知,随着反应体系中聚醚胺 D-230 用量的增加,合成的聚醚氨基嵌段共聚硅油环氧值变小产率升高,当反应物摩尔比为 1:1.4 时,此时生成的聚醚氨基嵌段共聚硅油环氧值为 0.0018  $\text{g}/\text{mol}$ ,产率最高可达 93.2%,且乳化后的乳液为性质稳定的、带有蓝光的澄清透明液体;进一步增加聚醚胺 D-230 的用量,体系的产率不会继续增加,且乳化后的乳液稳定性减弱。因此,反应原料的最佳摩尔比为 1:1.4。

### 2.1.4 反应温度聚醚氨基嵌段共聚硅油及其乳液性能的影响

当自制端环氧聚醚硅油( $M_w=8000$ )与聚醚胺 D-230 反应物摩尔比为 1:1.4、反应时间为 6 h 时,考察反应温度对聚醚氨基嵌段共聚硅油乳化效果的影响,结果见表 2。

表 2 不同反应温度下制备所得聚醚氨基嵌段共聚硅油及其乳液的性能指标

序号	反应温度/℃	环氧值/ ( $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	产率/ %	乳液外观
1	60	0.0074	71.9	乳白色不透明,静置分层
2	70	0.0062	73.7	乳白色半透明,静置不分层
3	80	0.0036	84.1	乳白色半透明,静置不分层
4	90	0.0039	83.5	乳白色略发蓝光,静置不分层
5	100	0.0036	84.1	乳白色略发蓝光,静置不分层

由表 2 可知,当反应温度低于 80 ℃ 时,聚醚氨基嵌段共聚硅油的环氧值较大,此时整个反应的转化率低于 80%,但随着反应温度的升高,分子的动能增大,分子间反应概率大大增加,能够发生有效反应的物质增加,反应体系中的端环氧聚醚硅油含量减少,聚醚氨基嵌段共聚硅油产率升高;当温度高于 80 ℃ 后,聚醚氨基嵌段共聚硅油产率变化减缓,这是因为当温度升高到一定程度后,分子活化状态到达最大值,再继续升高温度,对反应影响不大。且此时硅油乳液外观澄清透明,性质稳定,因此综合考虑最佳反应温度为 80 ℃。

### 2.1.5 反应时间聚醚氨基嵌段共聚硅油及其乳液性能的影响

当自制端环氧聚醚硅油( $M_w=8000$ )与聚醚胺 D-230 反应物摩尔比为 1:1.4、反应温度为 80 ℃ 时,考察反应时间对聚醚氨基嵌段共聚硅油乳化效果的影响,结果见表 3。

表 3 不同反应时间下制备所得聚醚氨基嵌段共聚硅油及其乳液的性能指标

序号	反应时间/h	环氧值/ ( $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	产率/ %	乳液外观
1	4	0.0056	81.4	乳白色不透明,静置分层
2	5	0.0048	86.7	乳白色半透明,静置不分层
3	6	0.0022	90.2	乳白色略发蓝光,静置不分层
4	7	0.0017	91.7	乳白色略发蓝光,静置不分层

由表 3 可知,随着反应时间的增加,体系中能够发生有效反应的物质越来越多,故生成的聚醚氨基嵌段共聚硅油环氧值越来越小,产率越来越高,当到达一定时间后,反应物功能团之间基本完全反应,继续增加反应时间对反应体系影响不大,还会浪费时间。综合考虑,最佳反应时间确定为 6 h。

2.1.6 乳液粒径分析

乳液粒径是衡量乳胶粒大小及影响柔顺剂应用性能及稳定性重要指标之一<sup>[17-18]</sup>。乳液粒径越小,渗透力越强,就更加容易扩散到纤维内部增大其与织物的接触面积,从而达到更好的整理效果。如图 4 所示是最佳工艺下聚醚氨基嵌段嵌段共聚硅油乳液的粒径分布图,从图中可以看出乳化后乳液的粒径呈正态分布,平均粒径为 56.26 nm,有利于乳液与纤维之间的渗透,粒径分散指数为 0.046 分布较窄,说明乳液分布均匀也没有大颗粒存在,稳定性良好。

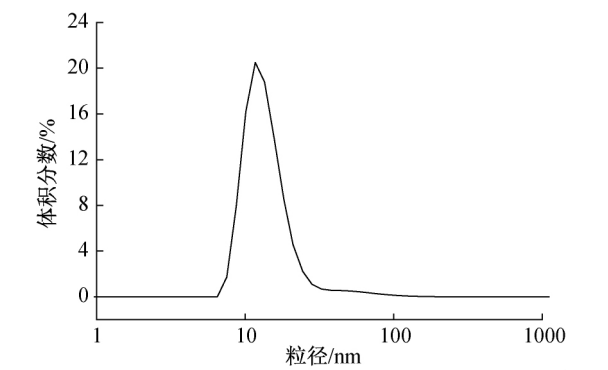


图 4 聚醚氨基嵌段共聚硅油乳液的粒径分布

2.1.7 乳液稳定性分析

乳液稳定性测试结果见表 4。从表中可以看出,聚醚氨基嵌段共聚硅油乳液的各项稳定性均良好,在后续应用过程中不会出现分层、破乳等问题。

表 4 乳液的 pH 值及其稳定性					
外观	pH 值	耐高低温 稳定性	耐酸碱 稳定性	储藏稳 定性	离心稳 定性
无色澄清透明带蓝光乳液	7	良好	良好	良好	良好

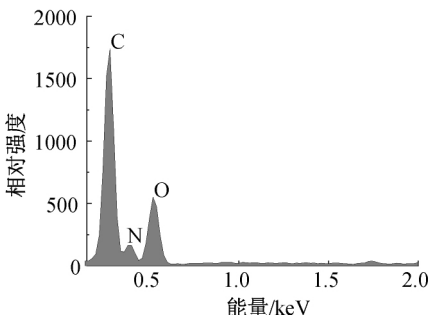
2.2 整理后羊毛织物的性能测试

2.2.1 表面形貌分析

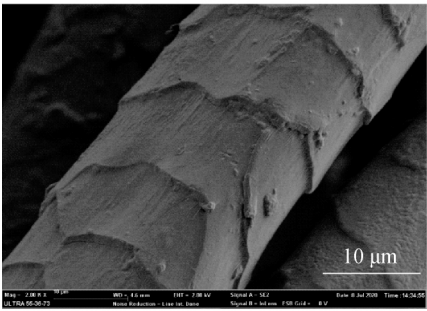
用 SEM 观察聚醚氨基嵌段共聚硅油柔顺剂处理前后羊绒织物的微观形貌,EDS 分析织物表面的元素组成。如图 5(a)所示,未经任何处理的羊绒织物表面不平整,有很多的褶皱和凸起,主要由 C、O、N 元素组成;而图 5(c)经聚醚氨基嵌段共聚硅油柔顺剂整理后的羊绒织物表面变得光滑平整,通过 EDS 分析可知,织物表面增加了 Si 元素。由此可知,柔软剂大分子可以通过阴阳离子间的电荷吸附作用,在纤维表面形成高分子膜从而对纤维表面的缺陷进行修复,使其平整度提高。



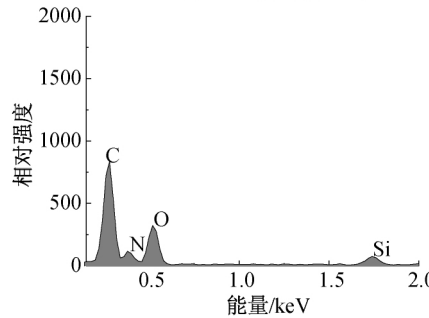
(a) SEM图像(未处理)



(b) EDS谱图(未处理)



(c) SEM图像(整理后)



(d) EDS谱图(整理后)

图 5 柔顺剂整理前后羊绒织物的 SEM 图像及 EDS 谱图

2.2.2 应用性能分析

为评价聚醚氨基嵌段共聚硅油的应用性能,将聚醚氨基嵌段共聚硅油乳液对羊绒织物进行柔软整理并与未整理的羊绒织物进行比较。硅油乳液用量为 30 g/L,整理后羊绒织物的应用性能如表 5 所

示。从表 5 中可以看出,经聚醚氨基嵌段共聚硅油柔顺剂整理后的羊绒织物白度略有下降,但降幅不大,说明经聚醚氨基嵌段共聚硅油柔顺剂整理后的织物泛黄程度低、色变小;因为聚醚氨基嵌段共聚硅油分子链中亲水的聚醚链段吸附在纤维表面,使得

水分子能够在纤维表面聚集,减弱了疏水聚硅氧烷链段对纤维的不良影响,从而导致羊绒织物的亲水性能大大增加;整理后羊绒织物硬挺度下降,柔软度和顺滑度相对提升,故其整体相对手感是提高了。

表5 柔顺剂整理前后织物的性能

样品名称	白度	润湿时间/s	相对手感值		
			硬挺度	柔软度	顺滑度
未整理	81.3	20.2	61.90	88.50	88.32
整理后	80.6	1.6	56.97	91.36	88.89

### 3 结 论

本文针对目前市场上硅油合成工程使用大量溶剂、不利于运输及环保等问题,以自制的端环氧聚醚硅油( $M_w=8000$ )和聚醚胺(D-230)为反应原料制备出无溶剂聚醚氨基嵌段共聚硅油,并将其应用于羊绒织物后整理过程。主要研究结论如下:

a)当反应温度 80 °C,反应时间 6 h,自制端环氧聚醚硅油( $M_w=8000$ )与聚醚胺(D-230)摩尔比为 1:1.4 时,所制得的聚醚氨基嵌段共聚硅油环氧值最低,此时反应转化率最高可达 93.2%。

b)聚醚氨基嵌段共聚硅油乳化后制得的乳液为带有蓝光的澄清透明液体,乳液的平均粒径为 56.26 nm,粒径分散指数为 0.046。

c)经聚醚氨基嵌段共聚硅油柔顺剂整理后的羊绒织物亲水性大大提升,白度和硬挺度略微下降,但整体手感提升,明显优于未整理的羊绒织物。

#### 参考文献:

- [1] Özcam A E, Spontak R J, Genzer J. Toward the development of a versatile functionalized silicone coating [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2014, 6(24): 22544-22552.
- [2] Wei Y, Zheng C, Chen P, et al. Synthesis of multiblock linear polyether functional amino silicone softener and its modification of surface properties on cotton fabrics[J]. Polymer Bulletin, 2019, 76(1): 447-467.
- [3] Jin Y F, Pu Q, Fan H. Synthesis of linear piperazine/polyether functional polysiloxane and its modification of surface properties on cotton fabrics[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2015, 7(14): 7552-7558.
- [4] Choudhury A K R, Chatterjee B, Saha S, et al.

Comparison of performances of macro, micro and nano silicone softeners[J]. Journal of the Textile Institute, 2012, 103(9): 1012-1023.

- [5] Mohamed A L, Er-Rafik M, Moller M. Suitability of Confocal Raman microscopy for monitoring the penetration of PDMS compounds into cotton fibres[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 96(1): 305-313.
- [6] Xu C S, Ouyang L, Liu H Y, et al. Synthesis of blocking polyether silicone oil and silicone blocking waterborne polyurethane and application to cashmere knitted fabric finishing[J]. Textile Research Journal, 2015, 85(19): 2040-2050.
- [7] 张强, 安秋凤, 李晓璐, 等. 亲水性聚醚氨基硅 QPEAS 硅乳的制备及应用[J]. 印染助剂, 2018, 35(6): 21-25.
- [8] Svensson A V, Johnson E S, Nylander T, et al. Surface deposition and phase behavior of oppositely charged polyion-surfactant ion complexes. 2. A means to deliver silicone oil to hydrophilic surfaces [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2010, 2(1): 143-156.
- [9] 徐成书, 吴梦婷, 任燕, 等. 线性聚醚嵌段氨基硅油的制备及其性能[J]. 纺织学报, 2019, 40(8): 89-94.
- [10] 刘锦凡, 汤金伟, 程文静, 等. 蓬松型聚醚嵌段硅油的制备及应用性能研究[J]. 化工管理, 2018(16): 49-52.
- [11] Abolhasani M M, Jalaei A, Tavana R, et al. Processing and performance properties of amino silicone-based softener on various textile substrates[J]. Polymer Bulletin, 2020, 77(5): 2557-2572.
- [12] Artikboeva R, Yang M X, Wu Y, et al. Preparation and application of the hydrophilic amino-silicone softener by emulsion polymerization[J]. Advances in Chemical Engineering and Science, 2020, 10(1): 1-23.
- [13] 陈焜, 周向东. 低溶剂嵌段硅油的碱法合成及应用[J]. 印染, 2018, 44(15): 26-31.
- [14] 周勇. 三元嵌段有机硅柔软剂的制备及其在纺织品上的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 19-20.
- [15] 赵浩伟, 樊丽霞, 张高奇. 自乳化嵌段硅油的制备[J]. 化工新型材料, 2019, 47(8): 244-247.
- [16] 周贤国, 武臻, 袁琳, 等. 多环氧基腰果酚缩水甘油醚环氧值的测定方法及表征[J]. 化工新型材料, 2015, 43(3): 207-209.
- [17] 安秋凤, 李临生, 黄良仙. 反应性氨基硅乳整理剂的制备及应用[J]. 有机硅材料, 2000, 14(4): 5-9.
- [18] 张强, 安秋凤, 王笑鸽, 等. 季铵化聚醚氨基硅柔软剂的合成及应用[J]. 针织工业, 2017(11): 43-48.

(责任编辑:刘国金)