

# 基于个人防护的棉织物吸湿快干整理

叶远丽<sup>1</sup>, 李飞<sup>1</sup>, 冯志忠<sup>1</sup>, 陆锋<sup>1</sup>, 翁雨晴<sup>2</sup>

(1. 圣华盾防护科技股份有限公司, 江苏 江阴 214413; 2. 江南大学, 江苏省功能纺织品工程技术研究中心, 江苏 无锡 214122)

**摘要:**在复杂灾害环境下, 防护性服装是应急救援过程中必须配备的一种装备。为了改善棉织物吸湿后造成阴冷感、闷热感的缺点, 提高服装的健康性、安全性, 采用十二烷基三甲氧基硅烷(DTMS)作为低表面能改性剂, 适度封闭棉纤维分子链上的羟基, 得到具有一定吸湿快干能力的棉织物。分析了DTMS用量对棉织物吸湿快干性能的影响, 探讨了整理前后棉织物滴水扩散时间、扩散直径、毛细高度、回潮率、保水率以及放湿性的变化。结果表明, 随着DTMS用量增加, 织物表面亲水性下降, 棉纤维与水之间结合力减小, 纤维表面张力减小, 表面水分快速蒸发, 织物干燥速率加快, 可以满足吸湿快干的效果。

**关键词:** 棉织物; 吸湿快干; 舒适性; 十二烷基三甲氧基硅烷

**中图分类号:** TS 195.54 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2017)06-0483-05

## Moisture Absorption and Fast Drying Finishing of Cotton Fabric

YE Yuanli<sup>1</sup>, LI Fei<sup>1</sup>, FENG Zhizhong<sup>1</sup>, LU Feng<sup>1</sup>, WENG Yuqing<sup>2</sup>

(1. Swoto Protection&tech. co., Ltd, Jiangyin 214413, China; 2. Jiangsu Engineering Technology Research Center for Functional Textiles, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** In case of complex disaster environment, protective clothing must be equipped with emergency rescue process. In order to improve the moisture management performance of cotton fabric, and qualify the health and safety requirement, dodecyltrimethoxysilane (DTMS) was used as low surface energy modifier to obtained fast drying cotton fabric with good moisture absorption. By grafting DTMS on cotton fibers, part of hydroxyl groups of cotton fibers lost their hydrophobicity. As a result, the drying of fabrics was easy to happen. The influence of the amount of the DTMS on cotton fabric's moisture absorption and drying properties including the drip diffusion time, the diffusion diameter of fabric, height of the capillary, moisture regain, water retention and moisture desorption were studied. The results show that when the amount of the DTMS is constantly increasing, the hydrophilicity of the fabric's surface decreases. The surface tension of fabric and the binding force between water and cotton fiber were also gradually reduced. The moisture of fabric evaporated rapidly and the drying rate of the fabric was fast.

**Key words:** cotton fabric, moisture absorption and quick drying, comfortability, dodecyltrimethoxysilane

在自然灾害和人为灾害等紧急事件下, 救援人员需要面临人、机、环这种均衡系统遭到破坏的情况。在此情况下, 个体防护装备成为保护救援人员生命安全与健康的唯一屏障。因此, 防护性服装的制备极为重要。随着材料与技术的发展, 防护性服装功能不断增加与完善, 纺织纤维向功能性、高性

收稿日期: 2017-09-15; 修订日期: 2017-11-08。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0802806)。

作者简介: 叶远丽(1984—), 女, 研究实习员。主要研究方向为功能性防护面料及防护服装。

Email: jinmei\_du@jiangnan.edu.cn

能性发展。吸湿快干性纺织品<sup>[1-2]</sup>,除了用于衬衣、外衣、运动服、内衣、西裤、衬里、装饰用品等,还可用于卫生医疗、防护等领域。这类产品要求必须同时具备吸水 and 快干两种性能,有良好的舒适性,并且在人体大量出汗时,衣服不会由于汗水黏贴在皮肤上而产生冷湿感。吸湿性较好的天然纤维<sup>[3-4]</sup>虽能满足吸湿性要求,但在大量出汗时,导湿、散湿慢,水不容易挥发,影响织物的热湿舒适性;合成纤维不含亲水性基团,吸湿性差,但易洗快干。无论是天然纤维还是合成纤维都很难兼具吸湿性和快干性这两种性能,文中结合天然纤维与合成纤维两者的优缺点<sup>[5-6]</sup>,通过适度封闭棉纤维的吸湿性基团,研发具有一定吸湿快干性能的织物。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料和仪器

**1.1.1 药品** DTMS,分析纯,质量分数为 95%,北京百灵威科技有限公司提供;无水乙醇、95%乙醇、冰醋酸、丙酮,均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司提供。

**1.1.2 织物** 纯棉织物,规格:经纬纱线密度为 14.58 tex,经纬密分别为 524 根/dm,283 根/dm。

**1.1.3 仪器** LHS-150HC-I 恒温恒湿箱,上海一恒科学仪器有限公司制造;DL07-YMPO-80 手摇轧车,北京北信科仪分析仪器有限公司制造;NEXUS-670 傅立叶变换红外光谱仪,赛默飞世尔科技(中国)有限公司制造;SU1510 扫描电子显微镜,日本日立公司制造;AO-100 移液器,奥豪斯仪器(上海)有限公司制造;DHG-9053A 电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司制造;Y(B)089D 全自动缩水率试验机,温州大荣纺织仪器有限公司制造。

### 1.2 整理工艺

采用 DTMS 为低表面能改性剂,以无水乙醇为溶剂,浴比为 1:20,用冰醋酸调节溶液 pH 至 4~6,配制成整理液。将整理液在 40℃ 下加热水解 30 min,再将经丙酮清洗去除杂质的干燥棉织物放入上述溶液中,在室温下浸渍 1 h,在浸渍过程中对棉织物二浸二轧(轧余率 90%~100%),轧去织物表面的整理液,使整理液分布均匀。将浸轧后的棉织物在 100℃ 下烘干,使整理液能较好地固着在织物表面。

### 1.3 改性棉织物的表征方法

采用傅立叶变换红外光谱仪(FTIR),对改性整理前后的棉织物进行化学结构分析。

采用电子扫描显微镜(SEM),对改性整理前后的棉织物进行形貌分析,放大倍数为 3 000 倍。

### 1.4 棉织物的吸湿快干性能测试方法

**1.4.1 回潮率** 将试样放入烘箱中烘至绝干,称取绝干时的织物质量( $G_0$ )。然后把试样置于标准状态下(温度(20±1)℃、湿度(65±2)%),进行调湿调湿平衡 24 h,称取吸湿回潮后织物的质量( $G_1$ )。回潮率( $W$ )计算如下:

$$W = (G_1 - G_0) / G_0 \times 100\% \quad (1)$$

**1.4.2 滴水扩散时间和扩散直径** 根据 GB/T 21655.1—2008《纺织品吸湿速干性的评定第 1 部分:单项组合试验法》,测试水滴接触试样表面至完全扩散所需时间,单位为 s,保留两位小数。并测试 20 s 时水滴在织物上沿经向和纬向扩散的直径,单位为 cm。

**1.4.3 毛细高度** 根据 FZ/T 01071—2008《纺织品毛细效应试验方法》,将织物裁剪成规格为 20 cm×5 cm 的试样(试样的长边平行于织物经向)。将在标准状态下已调湿平衡的试样一端固定在架上,使试样保持垂直。调整试样位置,使试样下端位于零位以下 15±2 mm 处。当液面处于零位时,开始计时,记录 30 min 时的毛细高度,单位为 mm。

**1.4.4 蒸发速率(相对含湿率)** 将试样饱和和吸收蒸馏水后,用手摇轧车对试样进行浸轧(轧余率为 80%~90%),称取轧液后试样质量( $G_s$ )。计此时为 0 时刻,即放湿开始。然后将试样置于标准状态下自然放湿,每隔 20 min 称取一次试样质量,记录此刻放湿后的质量( $G_n$ ),观察试样在各个时刻的质量变化。当连续两次试样质量的变化率不超过 1%,则停止实验。试样在不同放湿时刻的相对含湿率( $M$ )计算方式如下:

$$M = (G_n - G_0) / (G_s - G_0) \quad (2)$$

**1.4.5 保水率** 在标准状态下,将试样完全充分润湿,然后放入全自动缩水率试验机中脱水 5 min,称其脱水后质量( $G$ )。保水率( $K$ )计算如下:

$$K = (G - G_0) / G_0 \quad (3)$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 DTMS 用量对棉织物吸湿快干性能的影响

人体在大量出汗时,所排出的汗液会经织物传递到外界环境。织物的湿传递形式分为汽态湿传递和液态湿传递。前者为汽态汗是通过纤维吸湿-放湿以及纤维空隙向外扩散,后者为液态汗是通过纤维吸水-扩散以及纤维间形成的毛细效应来传递。

可见,织物要具备良好的吸湿快干性,应满足吸湿(水)好、传导快、蒸发快等要求。评价织物吸湿快干性的指标有吸湿性、吸水性、导水性、放湿性。表 1 列出了 DTMS 不同用量下,棉织物的吸湿快干性能变化情况。

表 1 棉织物的吸湿快干性参数

Tab. 1 Moisture absorption and quick drying properties of modified cotton fabric

$W_{\text{DTMS}}/\%$	扩散 时间/s	扩散 直径/cm	毛细 高度/mm	回潮 率/%	保水 率/%
0.10	12.87	3.05/2.51	117.2	6.51	67.60
0.50	14.39	2.94/2.36	102.9	6.23	64.86
1.00	17.04	2.81/2.15	85.7	6.05	63.86
2.00	32.52	2.27/1.46	72.3	5.74	46.03
4.00	>300	不扩散	不导湿	5.56	33.32

注:空白棉织物的滴水扩散时间为 12.48 s,滴水 20 s 时水滴经纬向直径分别为 3.67 cm 和 3.06 cm,毛细高度为 120.7,回潮率为 7.91%,保水率为 72.54%。

织物的吸湿性、吸水性分别用回潮率、保水率表示。回潮率是指纤维在大气环境下自然吸收水分的能力,即吸附气态水的能力。随着 DTMS 用量的增加,经低表面能整理的棉织物回潮率逐渐降低,但低表面能整理剂对棉织物回潮率影响较小。当 DTMS 的用量达到 4% 时,由于棉纤维分子链上的低表面能基团所占比重大,不利于织物对水的吸收,润湿性变差,棉织物表面表现为疏水性,而此时织物的回潮率为 5.56%,仍比合成纤维的回潮率高(如涤纶的标准回潮率为 0.4%)。究其原因,棉纤维由于存在极性集团,仍能吸附较多的气态水,而且改性整理对棉织物中纤维形成的孔隙并没有造成实质性的影响。

织物保水率是指纤维吸水后经过一定机械方法能保持水分不易散失的一种特性。通常情况下,保水率高,说明棉织物中纤维形成的孔隙储水能力强,可以防止人体出汗时,汗液在织物表面流淌,但汗液很难向外散发,则会产生闷热感。保水率低,汗液能快速地经纤维孔隙向织物表面移动,使棉织物不会长时间保留汗液,而是蒸发成汗汽扩散到外界,织物快速干燥。总之,保水率越低,越有利于织物干燥,织物快干性好。由表 1 中可以看出,当 DTMS 的用量较小( $W_{\text{DTMS}} < 1\%$ )时,DTMS 对棉织物的保水率影响不大,随着 DTMS 的用量增加,棉纤维表面被低表面能整理剂覆盖,在织物表面形成一层拒水膜,使织物表面张力大大降低,织物保水率呈现明显下降趋势。

织物的导水性可用毛细高度表示,还可用水滴扩散时间和直径表示。毛细高度是指水分子沿织物表面单方向传导的能力,水滴扩散时间和直径表示水分子沿织物表面各个方向扩散的能力。棉纤维为多孔纤维,吸湿后纤维内的孔隙由水联通后形成毛细效应,液态水在毛细管内受附加压力作用,向空气层移动,液态水蒸发成水汽,气态水再经纤维间的孔隙扩散转移到外界环境中。由表 1 可以看出,经低表面能整理,随着 DTMS 的用量增加,毛细高度呈下降趋势,水滴在织物上消失速率减慢,水滴扩散面积缩小。当 DTMS 的用量达到 4% 时,由于 DTMS 在酸催化下发生水解,生成 Si—OH, Si—OH 分子之间互相缩合,缩聚成具有 Si—O—Si 三维网络结构的拒水膜,使棉纤维分子链上的部分羟基被封闭,织物的比表面能大大降低,纤维与水分子的结合力减小,使得织物所吸收的水分由织物内表面向外表面扩散以及织物吸湿面积缩小,织物表面呈现疏水性效果。

织物的放湿性(蒸发速率)能直观地反映出织物吸湿后的快速散湿能力。水滴在织物内部和表面的蒸发速率越快,则织物快干能力越强。图 1 为 DTMS 用量对棉织物放湿性的影响曲线。

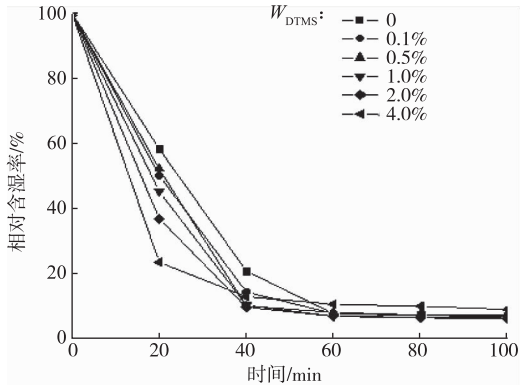


图 1 DTMS 用量对棉织物放湿性的影响

Fig. 1 Influence of hydrophobic agent concentrations on the moisture content of modified cotton fabric

由图 1 可知,经 DTMS 整理的棉织物的放湿速率明显比原棉织物要快,且放湿速率随着 DTMS 用量的增加而加快,说明整理程度对织物的放湿速率有影响,低表面能整理可提高织物的快干性。在开始放湿的 20 min 内,织物的放湿速率很快,能散失 40%~50% 水分。这主要是由于在水分蒸发前,需要经历润湿、吸湿和扩散过程。织物润湿后,水分完全被织物吸收,吸附在织物的内部和表面。在开始阶段,吸附在织物表面的水分挥发得快,而吸附在织物内部的水分需从织物内部转移到表面,再扩

散到外界。

放湿 20 min 时棉织物的相对含湿率变化如图 2 所示。由图 1、图 2 可以看出,当 DTMS 用量较小时,棉纤维分子链上仍有较多的羟基,水分子与棉纤维紧密结合,大部分水分子先吸附在织物表面,再挥发,延迟了织物内部水分挥发的时间,放湿速率减慢。随着 DTMS 用量的增加,棉纤维分子链上的羟基部分被封闭,DTMS 分子之间产生部分交联,使水分子进入受到阻碍,大部分水分可以较快地从织物内部转移到表面,直接扩散到外界,织物干燥速率加强。而当 DTMS 质量分数达到 4% 时,放湿 20 min 时织物的相对含湿率降至 20% 左右,织物达到放湿平衡时的含水率比 DTMS 用量较小时要高。这可能是由于在该用量下,织物表面覆上了一层拒水膜,水润湿织物后容易从织物表面脱落,水分子很难渗透到织物内部,仅仅吸附在织物表面。所以,结合棉织物的回潮率、保水率、放湿性、毛细高度以及水滴在棉织物上的扩散时间和扩散直径,DTMS 的适宜用量为 2%,此时改性整理的棉织物吸湿快干能力最好。

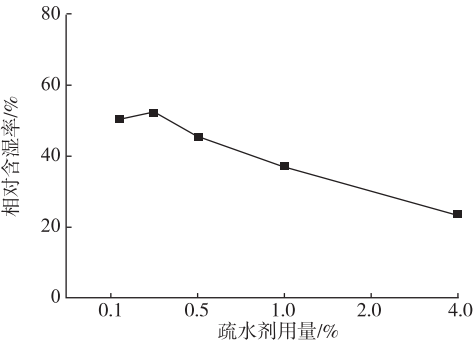


图 2 放湿 20 min 时棉织物的相对含湿率变化

Fig. 2 Relative moisture content of modified cotton fabric with different DTMS concentration after 20 min libreating

2.2 改性棉织物的表征

选用质量分数为 2% 的 DTMS 对棉织物进行整理,整理前后棉织物的红外光谱如图 3 所示。由图 3 可知,在  $3\,333\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰,是棉纤维中羟基 ( $\text{—OH}$ ) 的伸缩振动吸收峰; $2\,900\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰为  $\text{—CH—}$  键的伸缩振动吸收峰; $1\,640\text{ cm}^{-1}$  处对应的是  $\text{—C—O—}$  的伸缩振动吸收峰。在接枝后的棉织物的红外光谱中,这几种吸收峰的强度有所减弱,但减弱程度不大。对比两条曲线可以看出,接枝前后棉织物的红外光谱图峰形基本不发生变化,可能是由于硅烷类低表面能试剂用量少,接枝在棉

织物表面的疏水基团少的缘故。

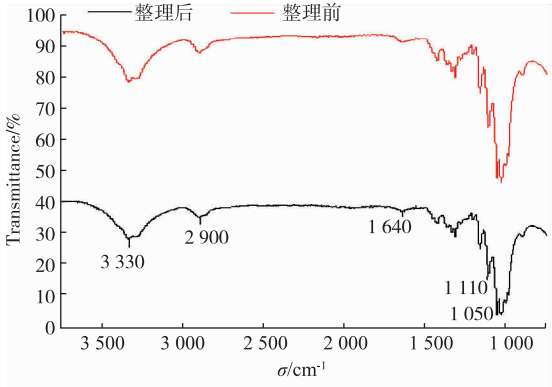


图 3 整理前后棉织物的红外光谱

Fig. 3 FTIR spectra of cotton fabric before and after finishing

整理前后棉织物的扫描电镜如图 4 所示。由图 4 可以看出,整理前棉织物相对光滑,而经 DTMS 整理后,棉织物表面变得粗糙,被微小颗粒所覆盖,这可能是由于 DTMS 水解后在织物表面发生交联导致的。

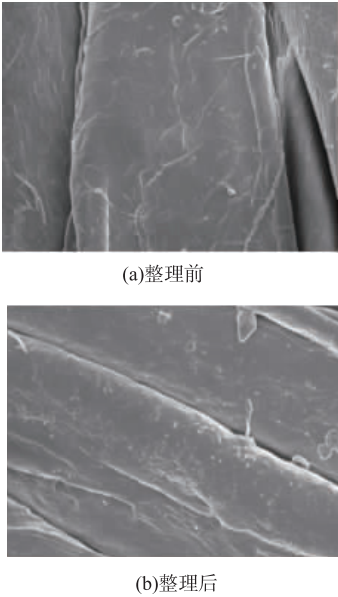


图 4 整理前后棉织物扫描电镜图

Fig. 4 SEM images of cotton fabric before and after finishing

3 结 语

1) 经 DTMS 整理后,棉织物的吸湿回潮能力有所下降,织物的干燥速率加快,能满足吸湿快干的效果。

2) 当 DTMS 的质量分数为 2% 时,织物的吸湿

快干性较好,且制备出的吸湿快干棉织物,能满足健康性、安全性、环保性要求,能应用于卫生医疗和防护领域。

参考文献:

[ 1 ] 黄淑平,杨宏珊,余水玉. 吸湿排汗纺织品的开发现状[J]. 上海纺织科技,2014,42(11):1-3.  
HUANG Shuping, YANG Hongshan, YU Shuiyu. The development status of moisture absorbing and releasing textiles[J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2014,42(11):1-3. (in Chinese)

[ 2 ] 李纳纳,陈晓玲. 基于单向导湿梯度模型的吸湿排汗面料开发[J]. 针织工业,2016(10):8-11.  
LI Nana, CHEN Xiaoling. Development of moisture-absorbing and sweat-transfer fabric based on single-side moisture transport gradient model[J]. Knitting Industries, 2016(10):8-11. (in Chinese)

[ 3 ] 汪南方,凌群民,翦育林. 提高纯绵针织物的吸湿快干性能[J]. 印染,2010,36(23):30-33.  
WANG Nanfang, LING Qunmin, JIAN Yulin. Improving moisture management property of cotton knits[J]. Dyeing and Finishing, 2010,36(23):30-33. (in Chinese)

[ 4 ] 李春光,李玉华,贾文琴,等. 棉织物的吸湿速干整理[J]. 染整技术,2015,37(10):20-22.  
LI Chunguang, LI Yuhua, JIA Wenqin, et al. Moisture absorbent and quick drying finish of cotton fabric[J]. Textile Dyeing and Finishing Journal, 2015,37(10):20-

22. (in Chinese)

[ 5 ] 潘璞,汪南方,翦育林,等. 棉盖涤针织物的水性聚氨酯吸湿快干整理[J]. 印染,2011,37(9):25-27.  
PAN Pu, WANG Nanfang, JIAN Yulin, et al. Moisture management of cotton-covering polyester knitted fabric with water-based polyurethane[J]. Dyeing and Finishing, 2011,37(9):25-27. (in Chinese)

[ 6 ] 张红霞,刘芙蓉,金艳,等. 涤棉比例对吸湿快干织物导湿性的影响[J]. 丝绸,2009,46(3):39-41.  
ZHANG Hongxia, LIU Furong, JIN Yan, et al. Effects of the ration between polyester and cotton on the moisture transfer ability of moisture absorbent and drying fast faric[J]. Journal of Silk, 2009,46(3):39-41. (in Chinese)

[ 7 ] 陈奠宇,柴文,王旭红,等. 吸湿排汗助剂的合成及最佳整理工艺探索[J]. 广东化工,2009,36(12):40-41.  
CHEN Dianyue, CHAI Wen, WANG Xuhong, et al. Synthesis and optional process of the moisture-absorbing and sweating agent[J]. Guangdong Chemical Industry, 2009,36(12):40-41. (in Chinese)

[ 8 ] 陈镇,赵世显,伍国生,等. 纯棉织物的吸湿快干整理工艺[J]. 上海纺织科技,2015,43(2):30-33.  
CHEN Zhen, ZHAO Shixian, WU Guosheng, et al. Moisture absorption and fast drying finishing process of pure cotton fabric[J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2015,43(2):30-33. (in Chinese)

(责任编辑:卢杰,邢宝妹)