

液态水沿纱线轴径向传递行为的研究

胡蝶¹,程浩南^{1,2}

(1.江西服装学院,江西 南昌 330201; 2.江西省现代服装工程技术研究中心,江西 南昌 330201)

摘要:在高倍显微镜下观察液态水沿纱线芯吸时的传递路径,分别建立液态水在纱线中轴向和径向传递的孔隙模型。通过分析得到:纱线芯吸时内部液态水的传递速率不同,中心传递速率大于周边传递速率。液体水沿纱线轴向传递时,水从纱线中心到纱线边缘所形成的毛细管尺寸逐渐变大。纱线芯吸有色液体平衡后,有色颗粒还会继续向上运动,但是不会超过已经形成的平衡界面,且随着有色颗粒的增加,有色界面颜色加深。液体水沿纱线径向传递,轴心孔隙较小首先被液体充满,中间孔隙与边缘孔隙之间形成类似U型的管道,促使轴心孔隙内的液体向边缘流动。

关键词:纱线;芯吸性能;液态水;孔隙;传递行为

中图分类号:TS101.922

文献标识码:B

文章编号:1001-2044(2018)11-0007-03

Transfer of liquid water along the yarn about axial and meridional

HU Die¹, CHENG Haonan^{1,2}

(1.Jiangxi Institute of Fashion Technology, Nanchang 330201, China)

(2.Jiangxi Provincial Modern Research Center of Clothing Engineering Technology, Nanchang 330201, China)

Abstract: The transmission path of liquid water wicking along the yarn is observed under high magnification microscope, and the axial and radial pore models of liquid water passing through the yarn are established respectively. The analysis shows that the transfer rate of liquid water inside the yarn is different when the liquid water wicks along the yarn, and the center speed is faster than the peripheral speed. When the liquid water passes along the axial direction of the yarn, the size of the capillary forms by the water from the center of the yarn to the edge of the yarn gradually becomes larger. After the yarn wicks a colored liquid balance, the colored particles would continue to move upward, but would not exceed the equilibrium interface which has been formed, and with the increase of colored particles, the color of the colored interface deepened. The liquid water is transmitted along the yarn warp. The small axial pore is first filled with liquid. The U-shaped pipe between the central pore and the edge pore promotes the liquid in the axial pore to flow to the edge.

Key words: yarn; wicking performance; liquid water; pores; transfer behavior

棉纤维柔软、吸湿性好,与皮肤接触后无刺激感,且染色性能优良,其面料广泛应用于贴身穿类服装的设计中^[1]。但纯棉面料在高湿热条件下易于贴伏在皮肤上,影响服装的穿着舒适性^[2-3]。因此,研究棉织物的吸湿过程具有重要的现实意义。

纤维集合体的润湿行为是一个受复杂因素影响的过程,其中涉及到诸多物理、化学因素^[4-6]。国内外许多研究者对纤维集合体芯吸现象的研究取得了一定成果,并且提出了一些新的假设,建立了相应的纤维集合体导湿模型,不断丰富纤维集合体的吸湿导湿研究体系^[7-9]。本文利用高倍显微镜观察液态水沿纱线芯吸时的传递路径,通过分析建立了液态水在纱线中传递的轴向和径向孔隙模型。根据当前学者们对纱线截面的研究,推断出较为合理的纱线轴径向孔隙图,以便更

直观地反应出液态水在纱线轴向和径向传递的路径以及传递方式,以期对纺织材料吸湿导湿领域的研究提供一些理论参考。

1 试验

1.1 试验材料及准备

采用环锭纺纯棉精梳纱,纱线线密度为19.437 tex。试样先按标准步骤进行煮练,以便去掉棉纤维中的天然蜡质和纺纱时加入的油剂等,然后先热水后冷水洗净,以便去掉残留的煮练剂。试样在空气中干燥24 h以上。准备一个大烧杯、直尺、铁架台、蓝色墨水、夹子、温度计等试验用具。

1.2 试验仪器

手动捻度仪;MDI型数码生物显微镜;佳能SX10;CCD型传感器,有效像素1000万,光学变焦20倍,数码变焦4倍,最高分辨率3648×2736,短片拍摄640×480帧/s。自主搭建的毛细管效应测试装置如图1所示。将纱线一端固定好,另一端放入有色液体中,记录每秒钟的芯吸高度值。

收稿日期:2017-11-25

作者简介:胡蝶(1978—),女,江西南昌人,讲师,主要从事纺织服装材料的应用研究。

通信作者:程浩南。E-mail:chenghaonna@126.com。

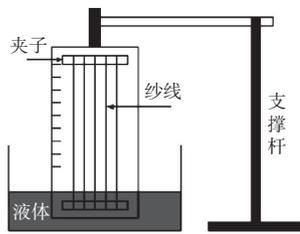


图1 纱线芯吸性能测试装置

2 液态水沿纱线轴向传递行为的理论分析

2.1 液态水沿纱线轴向传递的理论方式

纤维在纱线中的运动轨迹比较复杂,并且具有很大的随机性。早在1952年,Morton和Yen就采用示踪纤维^[10]实际观察到纤维在成纱中的转移情况。Hearle^[11]和Gupta^[12]通过试验证实:纱线中纤维排列的轨迹与理想的螺旋线结构并没有明显的差别。在环锭纺纱线中,纤维发生由内向外或由外向内的转移,这种转移的幅度可大可小,但其包络线的形状固定为圆锥形,具体见图2。



图2 环锭纱中纤维轴向结构

试验过程中,将吸湿后纱线的芯吸效果放大40倍后观察,效果图见图3。

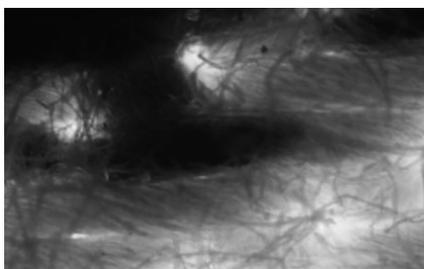


图3 环锭纱40倍下的芯吸效果图

通过观察图3可以看出:纱线在芯吸过程中,轴向芯吸高度并不相同,纱线中轴处的芯吸高度明显高于周围部分;芯吸前端形状呈现圆锥状态,而液体在靠近纱线外部边沿处的传递轨迹是绕轴心以圆柱形螺旋线运动轨迹持续上升,芯吸高度明显低于中轴处的芯吸高度。这是因为在纱线内部纤维之间的平行度远高于外部纤维,且纤维间形成的毛细孔隙较外部小,给液态水的芯吸创造了较好的条件。

2.2 纱线轴向空隙模型的建立

根据图3所观察的现象,本文建立简单的纱线轴

向空隙模型来说明纱线内部出现的液体传递速度不一致的原因。环锭纱轴向毛细孔截面图见图4。

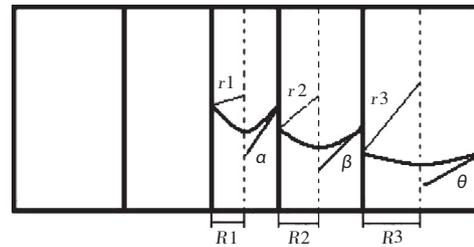


图4 环锭纱轴向毛细孔截面图

如图4所示,5个矩形分别为纱线内部纤维间形成的轴向毛细孔截面图,由中间到两边,截面半径逐渐增加。假设纤维间形成的毛细通道为圆柱形,根据Laplace方程,对圆形毛细孔附加压力 P 进行计算,表达式见式(1):

$$P = \frac{2\gamma_{lv}}{r} \quad (1)$$

式中: P ——附加压力,Pa;

γ_{lv} ——液气界面张力,N/m;

r ——柱曲面轴向的曲率半径,m

r 、 P 的计算式见式(2)、(3):

$$r = \frac{R}{\cos\varphi} \quad (2)$$

$$P = \frac{2\gamma_{lv}\cos\varphi}{R} \quad (3)$$

式中: R ——毛细管半径,m;

θ ——固液接触角($0^\circ \sim 90^\circ$)

由图4可知: $\cos\alpha = \frac{R_1}{r_1}$, $\cos\beta = \frac{R_2}{r_2}$, $\cos\theta = \frac{R_3}{r_3}$,且 $R_1 < R_2 < R_3$ 。

液体在纱线中产生的压力见式(4):

$$P_{液} = \rho gh \quad (4)$$

令 $P_{液} = P$,则有式(5):

$$\rho gh = \frac{2\gamma_{lv}\cos\varphi}{R} \quad (5)$$

故芯吸平衡高度 h 的计算见式(6):

$$h = \frac{2\gamma_{lv}\cos\varphi}{\rho g R} \quad (6)$$

由于试验采用相同的液体,所以3个毛细孔的液面张力大小是相同的。而三者孔隙半径 $R_1 < R_2 < R_3$,且 $\cos\alpha > \cos\beta > \cos\theta$,所以,3个毛细管通道中,液态水沿毛细管所达到的最大芯吸高度 $h_1 > h_2 > h_3$,见图5。

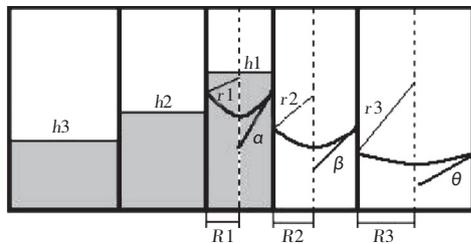


图5 纱线轴向截面芯吸高度图

由于毛细管半径尺寸不等,水从纱线中心到纱线边缘所形成的毛细管尺寸逐渐变大,所以才会显微镜中观察到液态水在中轴的传递速度高于在边缘的传递速度。图5可以很好地反映出毛细孔径的变化对芯吸高度的影响,并且从理论上说明纱线轴截面芯吸高度产生梯度的原因。但是该模型是建立在液态水的条件下,且认为纱线中心的孔隙尺寸为产生芯吸效果的最佳尺寸,忽略了用有色液体做芯吸试验所产生的视觉误差。为了更好地说明在该模型下利用显微镜观测有色液体芯吸高度所产生的现象,本文假设在其中一个垂直的毛细管通道内进行芯吸高度分析,见图6。其中 H_1 为液态水芯吸凹液面高度, H_2 为实际染料产生芯吸时的凸液面高度, h_1 为液态水在界面张力的作用下产生的攀爬高度, h_2 为染料在其界面张力下产生的攀爬高度。

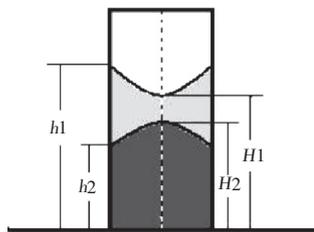


图6 单毛细管内液态水与有色液体芯吸高度示意图

在实际试验中一般都会以有色液体的攀爬高度来作为织物或者纱线的实际芯吸高度,而忽略了液态水的芯吸高度。主要原因是液态水与有色染料的粘度不同,对相同的管壁产生了不同的界面张力。液态水的表面张力是最大的,其表面分子活跃度也远高于其他液体,故液态水的芯吸高度大于有色液体;对于有色液体来说,由于其粘度大于液态水,故与管壁之间产生的阻力也大于液态水,所以芯吸高度较低。在液态水的芯吸速率大于有色液体的条件下,在有色液体的水平面上产生一个向上的拉动力,使得有色液体水平面中心向上的受力大于其在管壁处的受力,所以才会产生毛细管内有色液体界面中间凸出的芯吸现象。

根据以上模型可以推断出:当纱线芯吸平衡后,有

色液体内的有色颗粒还会继续做向上的运动,但是不会超过已经形成的平衡界面;而在平衡的界面层内,有色颗粒不断增加,使得纱线芯吸平衡放置一段时间后,界面颜色明显加深。这是因为液态水和有色液体存在一种微平衡状态,天气越干燥,液态水表面的分子动能越大,水分子就越容易溢出。为了维持平衡,纱线内会持续有液态水分子向上运动,从而带动有色液体颗粒在有色液体界面处不断累积,所以才会出现芯吸后的纱线在放置一段时间后芯吸高度中有色界面颜色加深的现象。

3 液态水沿纱线径向传递行为的理论分析

3.1 液态水沿纱线径向的理论传递方式

根据纺纱方式不同,纱线截面也会产生不同的纤维分布形态。对于环锭纺来说,纤维在纺纱过程中发生由内而外的转移和由外而内的转移。很多学者在研究纱线截面孔隙率的过程中,将纱线横截面由内向外依次分成等宽间隔的5个区域,并得到如下结论:环锭纱中中间层的孔隙率最小,呈现出紧密结构;在纱线外层,纱线的孔隙率最大,呈现出松弛结构^[12]。

3.2 纱线径向空隙模型的建立

根据纱线截面孔隙分布的理论依据,本文建立了简单的纱线径向孔隙模型,见图7。

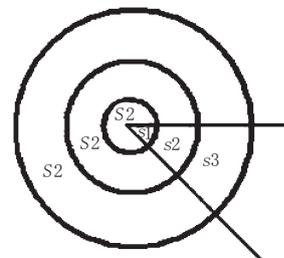


图7 纱线径向孔隙模型

将纱线截面分区简化为3个区,3个同心圆环的面积分别表示该区域孔隙面积总和,两条直线所形成的夹角为从纱线轴心到纱线边缘的一部分具有代表性的孔隙,其中 $s_1 < s_2 < s_3$ 。假设该3个孔隙为从纱线轴心到纱线边缘所形成3个相邻孔隙,那么,当液体接触该截面的瞬间,由于轴心孔隙较小,会首先被液体充满,而边缘孔隙较大,液体充满时间较慢,使得中间孔隙与边缘孔隙之间形成类似U型的管道,促使轴心孔隙内的液体向边缘流动。当液体充满面积为 s_2 的孔隙后,同理,会继续向 s_3 区域填充液体,故液体在纱线径向传递的方式为 $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3$,这同时也能很好地

(下转第51页)

于170 N,顶破强力和胀破强力均可以达到常规纺织品的最低要求。

3 捐赠羽绒服装清洁度与耗氧量评价

3.1 试验

参考 GB/T 14272—2011《羽绒服装》,捐赠羽绒服装清洁度的测定按照附录 C 中 C.6 方法进行;耗氧量的测定按照附录 C 中 C.7 方法进行。

3.2 结果与分析

测得 48 件捐赠羽绒服装的清洁度均在 460 mm 以上,参考 GB/T 14272—2011 中清洁度 ≥ 450 mm 的要求,规定捐赠羽绒服装清洁度 ≥ 450 mm。

测得 48 件捐赠羽绒服装的耗氧量均在 10 mg/100 g 以下,参考 GB/T 14272—2011 中耗氧量 ≤ 10 mg/100 g 的要求,规定捐赠羽绒服装耗氧量 ≤ 10 mg/100 g。

4 结 语

对于重复利用的捐赠纺织品,既要考虑到前期使

明液体沿纱线轴向传递的行为。

4 结 语

(1)在高倍显微镜下观察液态水沿纱线芯吸时的传递路径,发现纱线内部液态水的传递速率并不相同,而是一种中心速度大于周边速度的传递方式。

(2)液态水沿纱线轴向的传递过程中,水从纱线中心到纱线边缘所形成的毛细管尺寸逐渐变大。纱线芯吸有色液体平衡后,有色液体内的有色颗粒还会继续做向上的运动,但是不会超过已经形成的平衡界面,而是在平衡的界面层内,有色颗粒不断增加,使得纱线芯吸平衡放置一段时间后,界面颜色明显加深。

(3)液态水沿纱线径向的传递过程中,由于轴心孔隙较小,会首先被液体充满,而边缘孔隙较大,液体充满时间较慢,使得中间孔隙与边缘孔隙之间形成类似 U 型的管道,促使轴心孔隙内的液体向边缘流动。

参考文献:

[1] 李铎,杨建忠,郭昌盛.棉纤维的研究现状及发展趋势[J].成都纺织高等专科学校学报,2016,33(2):174-177.
[2] 郝习波,李辉芹,巩继贤.单向导湿功能纺织品的研究进展[J].纺

用、消毒对其内在质量的影响,也要考虑到其进一步使用的价值。参考常规纺织品的技术指标要求,规定捐赠纺织品的内在质量要达到常规纺织品的最低要求。捐赠纺织品的耐皂洗色牢度、耐水洗色牢度、耐汗渍色牢度、耐干摩擦色牢度应不低于 3 级,湿摩擦色牢度应不低于 2~3 级。机织类面料的断裂强力应不低于 170 N,针织类面料的顶破强力应不低于 140 N,毛针织类面料的胀破强力应不低于 245 kPa。捐赠羽绒服装的清洁度应不低于 450 mm,耗氧量应不大于 10 mg/100 g。

参考文献:

[1] 杨小娟,王小雷.初探国内外废旧服装回收再利用发展现状[J].山东纺织经济,2013(7):11-13.
[2] 徐寰,唐世君.国外废旧纺织品回收利用发展现状简析[J].纺织导报,2012(7):31-32.
[3] 顾明明,赵凯,贺燕丽.欧洲废旧纺织品回收利用现状及启示[J].再生资源与循环经济,2016,9(5):41-44.
[4] 陈遛芳.美国废旧纺织品回收体系及对中国的启示[J].毛纺科技,2015,43(2):62-65.

织学报,2015,36(7):157-161.

[3] 张辉,张建春.棉织物结构对芯吸效应的影响[J].棉纺织技术,2003,31(11):12-15.
[4] 李翠玉,罗岳文,杨雪.织物导湿性能的试验研究[J].棉纺织技术,2015,43(1):25-28.
[5] 赵军,张毅,杨彬,等.吸湿速干面料芯吸高度测量的不确定度分析[J].上海纺织科技,2017,45(5):42-44.
[6] 张璐璐,丁放,胡雪燕,等.疏水图形及面积对棉织物吸湿快干性能的影响[J].纺织学报,2017,38(9):89-93.
[7] 纪峰,李娜,宋冉风云,等.纺织材料芯吸性能建模预测研究进展[J].纺织学报,2016,37(9):164-166.
[8] MULLINS B J, BRADDOCK R D. Capillary rise in porous, fibrous media during liquid immersion [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2012, 55(21/22):6222-6230.
[9] HALER S, RANJAN R, HIDROVO C H. Capillary flow through rectangular micropill arrays [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2014(75):710-717.
[10] 王克毅.纱线结构的研究方法[J].纺织导报,2004,23(5):98-100.
[11] GUDIYAWAR M Y, KANE C D, SAUDAGAR S, et al. Wicking properties of air jet textured yarn [J]. Chemical Fibers International, 2012, 61(1):43-44.
[12] 郭滢.低扭矩环锭单纱的结构及性[D].上海:东华大学,2011.