

织物吸湿快干性能测试方法研究进展

熊晶晶, 傅佳佳, 王文聪, 王鸿博*

(江南大学 纺织科学与工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:探讨织物湿传递特性, 阐述织物吸湿快干相关性能测试的常用方法和参照标准, 分析各种测试方法的优势和不足, 为吸湿快干类纺织品的生产和性能检测提供参考。重点介绍国内外研究者提出的几种新型测试方法, 以求进一步提高织物吸湿、导湿和快干性能测试结果的准确性, 提升测试方法的全自动化、智能化程度。

关键词: 织物湿传递; 吸湿导湿性; 快干性; 评价标准; 新型测试方法

中图分类号: TS 107 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2020)04-0283-07

Research Progress on Testing Methods of Moisture Absorption and Quick-Drying Properties of Fabrics

XIONG Jingjing, FU Jiajia, WANG Wencong, WANG Hongbo*

(College of Textile Science and Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In this paper, the moisture transfer properties of fabrics were discussed, and several main methods and reference standards about the testing methods of moisture absorption and quick-drying properties of fabrics were stated. The advantages and disadvantages of different testing methods were analyzed to provide certain reference for the production and test of moisture absorption and quick-drying textiles. Several new test methods proposed by domestic and foreign researchers were introduced, in order to further improve the accuracy of the test results of moisture absorption, moisture conduction and quick-drying properties, improve the automatic and intelligent degree of the test method.

Key words: moisture transport of fabrics, moisture absorption and conduction properties, quick-drying property, evaluation standard, new testing methods

吸湿快干纺织品是兼具优良吸湿性和快速传导排湿特性的功能纺织品, 常用的天然纤维和化学纤维制品都无法完全满足吸湿快干的功能要求。科研人员利用纤维原料物理化学改性、织物组织结构设计和后整理等方式实现织物的吸湿快干功能, 并开发了一系列吸湿快干功能面料, 获得广泛应用^[1]。然而, 对吸湿快干类服装及面料的性能测评尚无统一标准, 已有检测方法不够精确、重现度差, 生产企业定义产品功能的方式也不同, 导致这类服

装及面料质量参差不齐^[2]。文中在探讨织物湿传递机理的基础上, 分析总结测试织物吸湿快干相关性能的常用方法, 并介绍几种国内外对相关性能测试提出的新方法、新技术。

1 织物湿传递特性

织物的吸湿快干性能主要与织物对水分的吸收和传输能力有关, 因此, 探讨织物湿传递特性是

收稿日期: 2019-08-13; 修订日期: 2020-01-11。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFB0309100); 江苏省产学研合作项目(BY2018039)。

作者简介: 熊晶晶(1996—), 女, 硕士研究生。

* 通信作者: 王鸿博(1963—), 男, 教授, 博士生导师。主要研究方向为功能纺织材料与产品。Email: wxwanghb@163.com

研究织物吸湿快干性能的重要环节。在湿传递过程中,通过织物的水分子存在液相和气相两种相态。织物对液态水的传递可看成是一个多环节的完整过程,包括织物对液态水的吸收扩散、传导及水分在织物表面的蒸发逸散,具体如图 1 所示。液态水接触织物后,润湿织物并被吸收,同时在织物内部纤维或纱线间的毛细管芯吸作用下向四周扩散,并向织物另一侧(渗透面)传导,传导到织物渗透面的水分蒸发逸散到空气中^[3]。

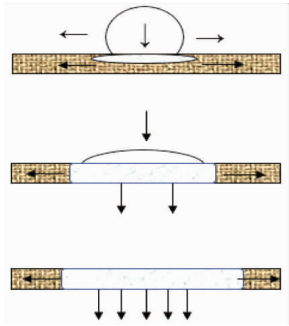


图 1 液态水湿传递过程

Fig. 1 Liquid moisture transfer process

气态水在织物中的传递途径有两种:①气态水在织物缝隙中由水蒸气分压高的一面向分压低的一面扩散;②气态水在织物一侧表面及纱线、纤维间的缝隙中凝结后,在微细通道中形成毛细管水并经过毛细输送,在另一侧蒸发到环境中,与液态水传导过程相同^[4]。

2 织物吸湿快干性能测试方法

织物的湿传递包括织物对液态水的吸收、传导和蒸发逸散以及气态水在织物中的扩散过程,它直接影响织物的吸湿导湿性、快干性和透湿性。织物吸湿性越好,越容易被润湿,吸湿越快;液态水在织物表面扩散面积越大,速度越快,水分的蒸发干燥越快,织物快干性能越好^[5]。因此,评价织物吸湿快干性能的方法主要是测试织物的透湿性、吸湿导湿性和快干性,再根据织物的最终用途和功能进行综合评判。

2.1 织物透湿性测试标准

织物透湿性与人体潜汗状态下织物对气态水的传递有关。人体在一般环境下即使没有较大活动量,也会因新陈代谢不断与外界环境进行热湿交换,若皮肤表面产生的湿气不能及时排出体外,会导致气态水凝结成液滴,引起黏连,产生不适感,所以对织物透湿性的测定有助于全面衡量吸湿快干织物的功能性和舒适性^[6]。当人体处于显汗状态时,一般不使用透湿性来衡量织物的吸湿快干性能,而是通过测试织物对液态水的吸收和传导性能来综合评定。

国内外常用的纺织品透湿性能测试标准见表 1。表 1 的测试标准中主要以透湿率(即在一定的温度条件下,规定时间内垂直通过单位面积织物试样的水蒸气质量)来表征织物透湿性能。

表 1 纺织品透湿性能测试标准

Tab. 1 Testing standards for moisture permeability of textiles

| 标准编号 | 标准名称 | 评价指标 | 适用范围 |
|--------------------------------------|------------------------|------|---------|
| GB/T 12704. 1—2009 ^[7] | 纺织品织物透湿性试验方法第 1 部分:吸湿法 | 透湿率 | 各类纺织品 |
| GB/T 12704. 2—2009 ^[8] | 纺织品织物透湿性试验方法第 2 部分:蒸发法 | | 各类纺织品 |
| JIS L 1099—2012 ^[9] | 纺织品透湿性测试方法 | | 各类纺织品 |
| BS 7209—1990 (R1997) ^[10] | 水蒸气能渗透的衣料规范 | | 防水、透气织物 |

2.2 织物吸湿导湿性测试方法

2.2.1 垂直芯吸法 垂直芯吸法是常用的直接测试织物吸湿导湿性的方法。测试时,将待测织物试样剪成长条形,把试样一端悬挂在铁架台上,另一端接触水面或浸入水中,测量一定时间后水分通过织物毛细作用所爬升的高度,或者测试水迹上升到一定高度所需要的时间,具体如图 2 所示。通过芯吸高度或芯吸时间表示织物传输水分的能力,一般认为单位时间内芯吸高度越高或芯吸时间越短,织物吸湿导湿性能越好。由于织物的结构或颜色会

影响肉眼对水迹爬升过程的判断,测试时通常会在水中加入不影响试验结果的着色剂,以方便肉眼识别。

国内外常用的测试织物吸湿导湿性能的标准中,运用垂直芯吸法的有 GB/T 21655. 1—2008《纺织品吸湿速干性的评定第 1 部分:单向组合试验法》^[11], AATCC 197—2013 *Vertical wicking of textiles*^[12], JIS L 1907—2010 *Test methods for water absorbency of textiles*^[13],不同标准测试方法略有不同,测试原理基本一致。

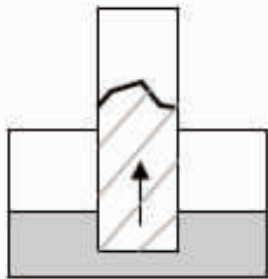


图 2 芯吸法

Fig.2 Wicking test

2.2.2 滴液法 滴液法是将液态水滴在织物表面,观察其在织物表面扩散情况,以判断织物吸湿导湿性的测试方法,具体如图 3 所示。测试时有两种滴水情况:①将一滴水从固定高度滴到织物表面,记录从水滴接触织物表面到完全扩散(不再呈现镜面反射)所需时间,该方法也被称为滴水扩散时间法,常用来表征织物吸水速度的快慢[见图 3(a)]。②将一定体积的水持续滴到织物表面,记录其在织物表面朝各方向扩散的情况,根据不同时间水分扩散面积或润湿半径的变化,得到水分扩散速率曲线,用以实时分析水分在织物表面传导情况,这种方法也被称为水平芯吸法[见图 3(b)]^[14]。滴液法测试简便快捷,是被广泛使用的一种评价织物吸湿快干性能的方法,滴水扩散时间越短,织物对水的吸收速度越快。

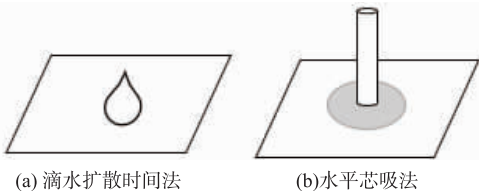


图 3 滴液法

Fig.3 Liquid drop test

国内外常用的测试标准中运用滴液法的有 GB/T 21655.1—2008, JIS L 1907—2010, AATCC TM 79—2014 *Absorbency of textiles*^[15], AATCC 198—2013 *Horizontal wicking of textiles*^[16]。其中, AATCC 198—2013 标准中使用的是水平芯吸法,具体测试方法为:在面料上画一直径为 100 mm 的圆,从滴管中释放 1 mL 水到圆中心位置,记录水润湿至圆圈边线时润湿织物的长度、宽度和时间,再由此计算水分扩散速率。其他几项标准均使用的是滴水扩散时间法原理。

2.2.3 静态润湿法 静态润湿法是将织物在水中浸没一定时间后取出,测试织物的吸水率或保水率,可以直接反映织物的吸水能力。运用静态润湿

法的标准有 GB/T 21655.1—2008, JIS L 1907—2010, BS 3449—2012 *Method for resistance of fabrics to water absorption (static immersion test)*^[17]。张婧炜等^[18]认为,吸水率侧重于考量织物对水分的吸附容纳能力,这与吸湿快干织物的特点不完全一致。吸湿快干织物要求具有良好的吸湿性并能将水分迅速排出,若织物对水分的吸附能力过强,可能会阻碍水分的传递和蒸发。

2.2.4 液态水动态传递性能综合测试 织物液态水动态传递性能综合测试采用水分管理测试仪 (moisture management tester, MMT),测试时利用与织物上下两个表面接触的同心圆环传感器测定水分在织物中的动态传递状况,其原理是当水分在织物上传递时,会使织物电阻发生变化,因此测得的电阻值变化量可以转换成织物中水分的扩散情况。利用 MMT 可在一次测试中同时得到润湿时间、吸水速率、最大润湿半径、液态水扩散速度、单项传递指数和液态水动态传递综合指数等一系列能充分反映织物吸湿导湿性能的指标。

液态水动态传递综合测试标准中最早推出的是美国 AATCC 195—2009 *Liquid moisture management properties of textile fabrics*^[19],后成为吸湿快干纺织品在国际市场中常用的性能评价标准之一,经不断更新和完善,已于 2017 年推出该测试标准的最新版本。中国也于 2009 年推出测试评定标准 GB/T 21655.2—2009《纺织品吸湿速干性的评定第 2 部分:动态水分传递法》。

以上几种测试织物吸、导湿性的方法中,垂直芯吸法可以直接观察到液体在织物中沿条带方向的传输扩散情况,便于比较液体在不同织物中的传输能力,但对于液体较少的情况(如人体体表汗液的传导)并不适用。润湿法可以反映织物的吸湿能力,但不适用于吸湿快干类织物的性能评价测试。滴液法测试原理和方法简单,关键在于提高测试结果的精准性,而液态水动态管理测试仪是通过一台仪器、一次测试得到多项指标,测试流程短、步骤少,但测试仪设备成本和技术要求较高,测试数据在稳定性方面有一定缺陷,在实际推广使用过程中受到限制。

2.3 织物快干性测试方法

织物的快干性可用于表征织物被滴湿或浸湿后快速变干的能力,通常以水分蒸发速率或干燥速率表示。常用的测试方法为称重法,参照 GB/T 21655.1—2008,在水滴被完全吸入织物后,将试样悬挂于标准大气压环境中,每隔 5 min 称取一次质

量,直至连续两次称取质量的变化率不超过 1%,根据织物质量变化情况,得到时间-蒸发量变化曲线,并计算水分蒸发速率;日本标准 JIS L 1096—2010 *Testing methods for woven and knitted fabrics*^[20]中,是将织物全部浸渍在水中后取出,悬挂滴干,记录织物从不再滴水至干燥到恒重状态所需的时间。由于不同原料、不同组织结构的织物吸水能力有所不同,在使用称重法比较不同织物水分蒸发速率快慢时,应考虑到原料、组织结构对织物吸附水分能力的影响。

上述标准中推荐使用的测试方法较为简便,但是在测试服用织物快干性能时,其测试环境与织物最终应用环境差别较大,需进一步完善测试条件。

标准 AATCC 199—2013 *Drying time of textiles: moisture analyzer methods*^[21]中,利用水分分析仪自带的加热装置可将润湿的面料加热到人体温度(37℃)或其他温度,然后测定试样达到干重或其他要求的测试终点时所需的干燥时间,以表征织物的干燥性能^[22]。标准 AATCC 201—2014 *Drying rate of fabrics: heatedplate method*^[23]中,采用热板法进行测试。在设备顶端用风扇满足风速要求,放置试样的金属板可加热至 37℃,测试时通过红外热电偶探头检测织物被浸湿处的温度变化,设备自动记录并得到织物温度随时间变化的曲线,当织物温度与初始温度相同并保持稳定时结束测试,根据曲线图可以得到织物的干燥速率。水分分析法法和热板法进一步模拟了织物的最终使用条件,测试结果可靠度高,但对设备要求也较高。

3 织物吸湿快干性能新型测试方法

在采用滴水扩散时间法测试时,一般是通过人眼观察液滴在织物表面被吸收的情况,但织物对水分的吸收时间较短,很难准确计时,此外对于一些颜色较深的织物,液滴在织物表面的变化肉眼不易察觉。在采用芯吸法观察水滴扩散情况时,测试人员对芯吸高度的读取和芯吸水滴扩散面积的计算会受人为因素的影响,测试过程需提高实验仪器的自动化水平和精度。研究人员利用织物吸湿后干湿区域颜色、温度等变化情况,将各种电传感技术、热传感技术和图像处理技术等运用到织物吸湿快干相关性能的测试中。

3.1 电学方法

电学方法的工作原理:织物被水润湿后,织物湿区的电阻或电容发生变化,且与干燥状态时相差

较大,因此利用电传感器测试织物电阻或电容的变化,即可反映出织物水分含量的变化,从而得到织物的水分扩散情况。MMT 即利用多个电传感器测定电阻变化,以反映水分扩散情况。HU J Y 等^[24]在织物上下两表面分别放置 6 个等距离的同心圆环,通过计算机记录相邻圆环之间的电阻值变化,数据经计算机处理后可以得到织物含水量的变化,从而测得水分在织物上的传导速率。张才前等^[25]依据电阻法检测原理,将多根探针沿不同方向插入织物内部,并将模拟汗液经注液管注入织物,记录液滴迁移至各探针的时间,并测试探针间电压随时间的变化,利用强大的数据采集系统完成长时间的数据监测,检测液滴在织物上扩散及蒸发的性能,以解决传统仪器无法同时测试汗液在织物上扩散及蒸发性能的问题。

3.2 光谱分析法

与传统测试方法相比,光谱分析法可以实现水分在纺织品中传输的三维可视化和量化监测,直接了解水分的传递位置及其在织物层内的扩散情况。LEE J H 等^[26]使用分光光度计测量织物干燥部分和润湿部分的颜色深度差异,以反映织物吸水量变化,将织物润湿至最大吸水量的 10%~90%,研究不同吸水量与颜色特征之间的相关性。回归分析表明,吸水量与反射特性(K/S 值、明度、色差)呈显著的线性关系($p < 0.05$)。

X 射线断层扫描技术也被用于纺织品中水分分布情况的检测。WEDER M 等^[27]利用 X 射线断层扫描仪(μ CT)研究多层织物在实际使用条件下的水分分布情况,测量时可在不影响织物其他性能的情况下跟踪水分输送的动态,并对织物层内的水分进行定量描述。BIRRFELDER P 等^[28]利用 μ CT 探究织物结构和纱线细度对织物芯吸作用的影响,开发了一种快速获得高分辨率投影的新方法,在润湿织物过程中,每隔一定时间对织物试样进行扫描并绘制放射图像,通过计算样品厚度方向上的平均含水量,绘制织物平面内水分分布半径随时间变化的图像,以直接反映织物中水分瞬时变化情况。KEISER C 等^[29]在低热辐射条件下,利用 X 射线断层扫描技术对多层消防服织物中水分的传递和蒸发过程进行定量研究,用 μ CT 技术代替称重,观察各层织物内水分含量的变化。

3.3 光学图像法

光学图像技术在织物亲水性测试中已有广泛应用。利用接触角测试仪的摄像头捕捉水滴与织物接触时的图像,经计算机处理提取轮廓信息,得

到织物与水滴之间的夹角,通过接触角的大小反映织物的亲水性能。滴液法测试中,通过高速摄影机捕捉织物接触角的动态变化,测试织物的吸水时间,可提高织物吸湿性能测试结果的准确度和可信度;同时,摄像机可记录水分在织物表面扩散情况,利用图像处理技术提取水分扩散轮廓特征,计算出扩散面积的变化,以面积变化速率表示水分扩散速率,从而准确反映织物的吸湿导湿性能。

HASSAN M M 等^[30] 在比较羊毛织物和含 Coolmax 纤维织物的快干性能时,通过测定各织物试样接触角的动态变化,比较不同类型织物的吸水速度。结果显示,表面含有 Coolmax 纤维的织物接触角(°)均在 3 s 内变为 0,而羊毛织物的接触角变化很慢。RAJA D 等^[31] 采用人工测量、Photoshop 图像处理和 MATLAB 软件嵌入式图像处理(EIAS)3 种方法测定织物吸水率、吸水速率以及水分在织物表面的扩散量。结果表明,利用 Photoshop 和 EIAS 图像分析方法可以测量织物的吸湿速率并客观评价总吸湿能力,图像处理分析方法与人工测量的结果相关性好,且测试速度快,精度高。

国内学者对图像处理技术在织物吸湿导湿性能测试中的应用也有一定研究。姜晓云等^[32]、詹永娟等^[33] 基于垂直芯吸法和图像处理技术,介绍一种织物液态水传递性能的自动检测装置,在织物垂直芯吸过程中,通过 COSM 图像采集装置不断采集试样图像,经“织物垂直芯吸自动识别系统”处理以后,输出试样的芯吸高度值,实现对织物液态水传递过程的自动检测,并通过 MATLAB 程序图像处理技术对成像时的径向桶形畸变进行修正,得到畸变图像和拍摄物体间的准确对应关系,解决了垂直拍摄芯吸高度图像所产生的径向畸变带来的测试误差问题。赵兵等^[34] 利用单反数码相机视频记录液滴在棉防护织物中动态扩散的全过程,采集不同时间的织物图像,并运用 MATLAB 软件进行图像处理,编程计算出织物在相应时间内的吸水面积、吸水速度及最大吸水面积。研究得出,图像法测试结果精确度高、误差小,可代替称重法测试织物的导湿性。

3.4 红外成像技术

织物吸水后被润湿部分的温度与干燥状态相比变化较大,红外成像技术可利用红外热像仪测得织物干湿区域温度差异,根据温度变化反映织物中水分含量的变化,并进一步得到水分在织物中的传递情况。热传感成像技术在确定深色或图案较复杂的织物干湿区域界线时比图像处理技术有效,准

确度更高。NIEDERMANN R 等^[35] 使用红外摄像机记录吸湿后的织物在干燥过程中的表面温度变化,从而确定织物干燥时间点。DERLER S 等^[36] 在研究吸湿对医用床单摩擦系数的影响时,利用红外摄像机识别水分蒸发的位置来定义干湿区域的界限。DEMA M 等^[37] 提出一种热成像视觉系统,用于测量织物水平芯吸和干燥性能,在整个润湿和干燥过程中自动分析红外相机所跟踪的湿区域面积变化,所提取的特征反映了水分在织物表面的扩散情况和干燥过程。

以上几种目前研究较多的新型测试方法均基于滴液法,以比较织物被润湿前后干湿区域的差异。电阻法可以在一台测试仪器上测量织物动态导湿、排湿情况,但测试结果稳定性较差;图像处理技术测试织物导湿性能直观且准确,但当测试有色面料或者印花面料时,干湿区域不易分离。且该方法对图像采集装置要求较高,应用推广还有一定困难;而光谱扫描技术和热成像技术能直接观察织物动态湿传递过程,可精准测试织物的导湿排湿性能,但成本高,实际测试中应用较少。

4 结 语

织物的吸湿快干性能直接影响织物的热湿舒适性,是评价服用类织物面料舒适性的重要指标之一。传统测试方法对实验设备要求较低,但测试步骤繁杂、准确度较低;对织物吸湿快干性能的评价也存在诸如评价指标多,部分评价标准和评价指标合理性有待考察的问题。近年来,众多研究者通过合理选取评价指标和不断优化传统测试方法细节,在完善织物吸湿快干性能测试和评价方法方面有一定突破,但在提升测试方法的稳定性、一体化和数字智能化等方面还存在欠缺,需要进一步研究。

参考文献:

[1] 马磊. 吸湿排汗纺织产品开发现状与发展趋势[J]. 纺织导报, 2017(9): 22-24.
MA Lei. Status and development of moisture absorbent and quick-drying textiles[J]. China Textile Leader, 2017(9): 22-24. (in Chinese)
[2] 刘旖娜,朱雯喆,吴浩,等. 吸湿速干产品质量现状分析[J]. 纺织导报,2017(9):28-30,32.
LIU Yina, ZHU Wenzhe, WU Hao, et al. An analysis on the quality status of moisture absorbent and quick-drying garment[J]. China Textile Leader,2017(9):28-30,32. (in Chinese)
[3] 李金秀,周佩蓉,金敏. 吸湿速干纺织品的测试评价

- [J]. 印染, 2011(15):36-40.
- LI Jinxiu, ZHOU Peirong, JIN Min. Testing and evaluation of absorption and quick-drying textiles[J]. Printing and Dyeing, 2011(15):36-40. (in Chinese)
- [4] 王涛, 吴浩宁. 浅谈服装热湿舒适性及评价方法[J]. 中国纤检, 2015(10): 74-76.
- WANG Tao, WU Haoning. Introduction to the thermal and humid comfort and evaluation method [J]. China Fiber Inspection, 2015(10): 74-76. (in Chinese)
- [5] 张天祥, 章辉, 韩玉茹. 纺织品吸湿速干功能测试方法的探讨[J]. 纺织标准与质量, 2018(5): 7-12.
- ZHANG Tianxiang, ZHANG Hui, HAN Yuru. Discussion on test methods of moisture absorbent and quick-drying property of textiles [J]. Textile Standards and Quality, 2018(5): 7-12. (in Chinese)
- [6] 王小兰. 吸湿速干测试标准怎么用, 起草专家这样说[J]. 中国纤检, 2018(1): 96-98.
- WANG Xiaolan. How to use the test standards of absorption and quick-drying, and the draft expert said like this [J]. China Fiber Inspection, 2018(1): 96-98. (in Chinese)
- [7] 中国国家标准化管理委员会. 纺织品织物透湿性试验方法第1部分: 吸湿法: GB/T 12704.1—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 3.
- [8] 中国国家标准化管理委员会. 纺织品织物透湿性试验方法第2部分: 蒸发法: GB/T 12704.2—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 3.
- [9] Testing methods for water vapor permeability of textiles; JIS L 1099—2012[S/OL]. [2019-04-21]. <https://max.book118.com/html/2019/0714/7020101002002041.shtm>.
- [10] Water vapour permeable apparel fabrics: BS 7209—1990[S/OL]. [2019-04-21]. <http://www.biaozhuns.com/archives/20150926/show-133073-80-1.html>.
- [11] 中国国家标准化管理委员会. 纺织品吸湿速干性的评定第1部分: 单项组合试验法: GB/T 21655.1—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 4.
- [12] Vertical wicking of textiles: AATCC TM 197—2013[S/OL]. [2019-04-25]. <http://freestd.us.ap1700.com/soft4/4127935.htm>.
- [13] Test methods for water absorbency of textiles; JIS L 1907—2010[S/OL]. [2019-04-26]. <https://max.book118.com/html/2011/0218/71706.shtm>.
- [14] PARADA M, DEROME D, ROSSI R M, et al. A review on advanced imaging technologies for the quantification of wicking in textiles[J]. Textile Research Journal, 2017, 87(1): 110-132.
- [15] Absorbency of textiles: AATCC TM 79—2014[S/OL]. [2019-05-01]. <http://www.doc88.com/p-1015092023048.html>.
- [16] Horizontal wicking of textiles: AATCC TM 198—2013[S/OL]. [2019-05-01]. <http://www.doc88.com/p-7979180332598.html>.
- [17] Method for resistance of fabrics to water absorption (static immersion test): BS 3449—1990[S/OL]. [2019-05-02]. <http://www.doc88.com/p-3897471855745.html>.
- [18] 张婧炜, 王新厚, 陆肖莉, 等. 异形截面纤维织物吸湿速干性能的测评[J]. 上海纺织科技, 2011, 39(9): 56-57.
- ZHANG Jingwei, WANG Xinhou, LU Xiaoli, et al. Evaluation of absorption and quick-dry performance of fabric made of shaped fibers[J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2011, 39(9): 56-57. (in Chinese)
- [19] Liquid moisture management properties of textile fabrics: AATCC TM 195—2012[S/OL]. [2019-05-04]. <http://www.doc88.com/p-3833891812585.html>.
- [20] Testing methods for woven and knitted fabrics: JIS L 1096—2010[S/OL]. [2019-05-04]. <http://www.doc88.com/p-9186471644947.html>.
- [21] Drying time of textiles; moisture analyzer methods: AATCC TM 199—2012[S/OL]. [2019-05-06]. <http://www.doc88.com/p-1458981036677.html>.
- [22] 蒋红, 石雪. 几种纺织品吸湿速干性能测试方法的比较分析[J]. 中国纤检, 2017(3): 107-110.
- JIANG Hong, SHI Xue. A comparative analysis of testing methods for several textile hygroscopic and quick-drying performance[J]. China Fiber Inspection, 2017(3): 107-110. (in Chinese)
- [23] Drying rate of fabrics: heated plate method: AATCC 201—2013(R2014)[S/OL]. [2019-05-08]. <http://zbgb5.com/122/StandardDetail4159648.htm>.
- [24] HU J Y, LI Y, YEUNGK W, et al. Moisture management tester: a method to characterize fabric liquid moisture management properties [J]. Textile Research Journal, 2005, 75(1): 57-62.
- [25] 张才前, 姚菊明. 织物导湿排汗性能自动测试方法[J]. 纺织学报, 2018, 39(1): 45-50.
- ZHANG Caiqian, YAO Juming. Automatic moisture transmission and perspiration test method of fabrics [J]. Journal of Textile Research, 2018, 39(1): 45-50. (in Chinese)
- [26] LEE J H, KIM S H, LEE K J, et al. Determining the absorption properties of split-type microfiber fabrics by measuring the change in color depth[J]. Textile Research Journal, 2004, 74(3): 271-278.
- [27] WEDER M, BRUHWILER P A, LAIB A. X-ray tomo-

- graphy measurements of the moisture distribution in multi-layered clothing systems [J]. Textile Research Journal, 2006,76(1):18-26.
- [28] BIRRFELDER P, DORRESTIJN M, ROTH C, et al. Effect of fiber count and knit structure on intra- and inter-yarn transport of liquid water [J]. Textile Research Journal, 2013,83(14):1477-1488.
- [29] KEISER C, WYSS P,ROSSI R M. Analysis of steam formation and migration in firefighters' protective clothing using X-ray radiography[J]. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics,2010,16(2):217-229.
- [30] HASSAN M M, LEIGHS S J. Quick dry ability of various quick drying polyester and wool fabrics assessed by a novel method [J]. Drying Technology, 2017,35(5):585-592.
- [31] RAJA D, RAMAKRISHNAN G, BABU V R, et al. Comparison of different methods to measure the transverse wicking behavior of fabrics [J]. Journal of Industrial Textiles,2014,43(3):366-382.
- [32] 姜晓云,周小红,翁鸣,等. 基于垂直芯吸法的织物导湿性能图像处理修正[J]. 纺织学报,2010,31(6):58-61. JIANG Xiaoyun, ZHOU Xiaohong, WENG ming, et al. Image-processing amendment of fabric moisture transfer property based on vertical wicking measurement [J]. Journal of Textile Research, 2010,31(6):58-61. (in Chinese)
- [33] 詹永娟,谢维斌,姜晓云,等. 织物液态水传递性能的自动检测技术及应用[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版),2013,30(1):6-11. ZHAN Yongjuan, XIE Weibin, JIANG Xiaoyun, et al. Technology and application of the automatic detection in testing liquid transport properties of textiles [J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University (Natural Sciences Edition),2013,30(1):6-11. (in Chinese)
- [34] 赵兵,王芳芳,陈文艳. 基于图像处理的井下作业防护织物导湿性能研究[J]. 产业用纺织品,2016,34(11):36-40. ZHAO Bing, WANG Fangfang, CHEN Wenyan. Study on moisture transfer performance of underground protective fabric based on image processing technique[J]. Technical Textiles,2016,34(11):36-40. (in Chinese)
- [35] NIEDERMANN R, ROSSI R M. Objective and subjective evaluation of the human thermal sensation of wet fabrics [J]. Textile Research Journal, 2012,82(4):374-384.
- [36] DERLER S, RAO A, BALLISTRERI P, et al. Medical textiles with low friction for decubitus prevention [J]. Tribology International, 2012,46(1):208-214.
- [37] DEMA M, TURNER C, SARI-SARRAF H, et al. Machine vision system for characterizing horizontal wicking and drying using an infrared camera[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2016,12(2):493-502.
- (责任编辑:沈天琦)