

防水透湿织物的研究进展

丁子寒¹, 初曦¹, 邹婷婷¹, 邱华^{*1}, 沈海生²

(1. 江南大学 纺织服装学院, 江苏 无锡 214122; 2. 南通赛晖国际贸易股份有限公司, 江苏 南通 226011)

摘要:通过对防水透湿织物的研究现状进行梳理,将防水透湿织物按照加工方式分为高密织物、涂层织物和层压织物,按照防水透湿机理分为疏水微孔织物和亲水无孔织物,并且对市场上现有的防水透湿产品进行介绍。在此基础上分析了防水透湿的孔隙扩散机理、微孔透湿机理以及高分子间“孔”亲水基团透湿机理,阐述了不同防水透湿织物对应的常用制备方法,预测防水透湿织物将向智能化、多功能化、环保化的方向发展。

关键词: 防水透湿织物;疏水微孔织物;亲水无孔织物;高密织物;深层织物;层压织物

中图分类号: TS 195.597 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2019)05-0383-05

Research Progress on Waterproof and Moisture Permeable Fabric

DING Zihan¹, CHU Xi¹, ZOU Tingting¹, QIU Hua^{*1}, SHEN Haisheng²

(1. School of Textile and Clothing, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Nantong Saihui International Trade Co., Ltd., Nantong 226011, China)

Abstract: The research situation of waterproof and moisture permeable fabric is reviewed. According to the processing method, waterproof and moisture permeable fabrics are divided into high-density fabrics, coated fabrics and laminated fabrics. According to the waterproof and moisture transport mechanism, the fabrics are divided into hydrophobic microporous ones and hydrophilic non-porous ones. This paper introduced the existing waterproof and moisture-permeable fabrics on the market and analyzed the pore diffusion mechanism, microporous moisture permeability mechanism and the mechanism of the moisture permeability of the "hole" among hydrophilic group of polymers. The common preparation methods for different waterproof and moisture permeable fabrics were described. It is predicted that waterproof and moisture permeable fabrics will develop in the directions of intelligence, multi-functionality and environmental protection.

Key words: waterproof and moisture permeable fabric, hydrophobic microporous fabric, hydrophilic non-porous fabric, high density fabric, coated fabric, laminated fabric

随着科学技术的发展和经济生活的提高,人们对于纺织品的关注不只局限于织物的强度和耐用性能,对于织物的外观设计、舒适性和功能性也愈加关注。在户外运动时,要求服装可以抵抗外界的雨露,同时防止汗液在服装与人体之间积聚冷凝。

防水透湿功能服装被人们形象地称为“可呼吸面料”^[1]。这是因为它一方面可以阻止液态的水分

子进入,保护人体不受外界风雨的侵害,另一方面可以使气态水分子透出,将人体活动所产生的汗液及时排放到外界空气中,达到防水导湿的效果。这种织物广泛运用于T恤衫、冲锋衣、滑雪鞋等产品中,有助于提高服装的舒适性能。文中通过分析织物防水透湿机理,阐述了织物防水透湿功能的实现方法,以期对其未来的发展趋势进行预测。

收稿日期:2019-04-14; 修订日期:2019-08-11。

作者简介:丁子寒(1996—),女,硕士研究生。

* 通信作者:邱华(1979—),男,教授,硕士生导师。主要研究方向为织物的性能及舒适性。

Email: qiu_hua@jiangnan.edu.cn

1 防水透湿织物的种类

1.1 按照加工方式分类

防水透湿织物按照加工方式可分为高密织物、涂层织物和层压织物^[2]。不同加工方式所对应的织物各有特色。

高密织物产生于20世纪80年代,它的密度可达到普通织物的20倍。在晴朗天气时,纱线孔隙大约为10 μm ,此时织物具有良好的透气透湿性,而当空气湿润时,纤维吸收水分体积迅速增大,纱线孔隙缩小到3~4 μm ,并能起到一定防水的功效。以细号棉纱织成的平纹 Ventile 织物是高密织物的代表^[3]。涂层织物是将具有防水透湿功能的整理剂均匀涂覆于织物上表面,形成一层连续不透水的高分子薄膜,其防水性能优异,但是透湿性能较差。目前市场上常见的整理剂有有机氟系整理剂和有机硅系整理剂。SHAO J 等^[4]采用丝素蛋白(silk fibroin, SF)和聚乙烯吡咯烷酮(polyvinyl pyrrolidone, PVP)改性水性聚氨酯(water polyurethane, WPU)制剂,制备了一种新型防水透湿涂料,实现了理想的防水透气效果。层压织物是指在一定的温度、压力、胶黏剂的作用下,将防水透湿功能膜与普通织物相复合,取长补短,集多种优点于一身,且不用担心各材料的相容性问题。周珊珊等^[5]采用乙烯-醋酸乙烯共聚物(ethylene-vinyl acetate copolymer, EVA)热熔胶制备出聚四氟乙烯(polytetrafluoroethylene, PTFE)防水透湿层压织物,其透湿量、剥离强度、防水性等性能均可满足市场需求。赵磊等^[6]将热塑性聚氨酯(thermoplastic polyurethane, TPU)热熔胶弹性体均匀洒在涤纶机织物表面,然后平铺高透PU膜,在一定温度和压力的复合作用下,制备出的层压织物具有良好的防水透湿性。

1.2 按照防水透湿机理分类

防水透湿织物按照防水透湿机理可以分为两类,分别为亲水性无孔膜和疏水性微孔膜^[7]。

亲水性无孔膜有两类,分别是TPU和Sympatex。TPU防水透湿膜表面呈无孔结构,因此可以有效提高织物的耐水压性,防水效果好,同时引入的亲水基团作为桥梁,将水分子传输到外界^[8],但其导湿速率慢,且透湿量不高。Sympatex本质上是一种共聚多醚酯的高科技产品,它具有无孔、坚韧、亲水的特点,且防水性能相比同类产品十分优异。

Sympatex通过薄膜内外压力差实现两侧水分交换,但它的透湿性仍有很大的改善空间。目前市场上主要的亲水无孔产品有德国新保适公司的Sympatex层压织物、英国Baxanden公司的Wilcoflex Staycool和日本的Prooface涂层织物等,均具有优良的防水透湿功能^[9]。

疏水性微孔膜的代表产品是美国Gore公司生产的Gore-Tex防水透湿织物。Gore-Tex是采用双向拉伸法制成的PTFE薄膜,其化学稳定性好,耐热性好,防水、防风性能优异,适合制作冲锋衣、登山服等户外服装^[10]。由于人们对环保性和舒适性需求的提高,PTFE织物不易降解、透湿量较小的缺点使其运用受限。HAO X等^[11]先将抗静电、抗菌、防水处理后的聚对苯二甲酸类塑料(polyethylene terephthalate, PET)织物与PTFE微孔膜层压处理,然后在其表面涂覆聚氨酯甲酯(polyurethane, PU)溶液,制成的织物可以分离空气和液体中的SARS病毒,并且可以达到较高的舒适度。此后,郝新敏等^[12]也研发了相似的防水透湿织物,该织物具有防水、透湿、防风、病毒隔离和防护等多种功能。刘延波等^[13]制备出一种用聚偏氟乙烯(polyvinylidene fluoride, PVDF)代替PTFE的功能膜,经测试它的抗剥离强度和透湿量均优于PTFE拉伸膜层压织物,仅耐静水压值低于PTFE层压织物,但仍然可以达到产业化使用要求。

2 防水透湿机理

目前,实现织物防水与透湿的统一是防水透湿织物研究的重要课题,这要求织物既可以在雨雪等湿润的天气下防止水渗透使人体产生不适感,又可以使人体排出的汗液迅速透出扩散至空气中。

织物实现其防水透湿性有3种机理:①利用空隙自然扩散机理设计具有防水透湿功能的高密织物^[14]。通常采用精梳高支棉纱或超细纤维为原料,并进行拒水处理,使其兼具防水和透湿的效果。②微孔防水透湿机理。各种形态下水的直径见表1^[15]。利用水蒸气与水滴直径的巨大差异,使微孔直径大于水蒸气的直径而小于水滴直径,即微孔直径基本为0.2~5 μm ,从而发挥拦截雨水排出汗液的作用^[16]。③高分子间“孔”亲水基团透湿机理。水分子依靠氢键和其他分子间作用力沿着亲水链上的亲水基按“吸附—扩散—解吸附”的顺序从高湿度侧传递到低湿度侧,从而达到透湿目的^[17]。

表 1 各种形态下水的直径
Tab.1 Diameter of water in various forms

水的形态	直径/ μm
空气分子	0.000 36
水蒸气分子	0.000 47
露水	100
毛毛雨	500
普通中雨	2 000
雷雨	3 000

3 防水透湿膜的制备方法

目前,防水透湿膜的制备方法有很多,但是所选择的加工手段要与功能实现机理相适应,并须考虑面料的终端用途和工业化生产的可能性。常见的加工方法主要有 5 种,分别为双向拉伸法、熔融挤出法、相分离法、闪蒸法和静电纺丝法^[18]。

双向拉伸法是在低于材料熔点而高于其玻璃化转变温度时,对初生膜进行横向和纵向拉伸,形成孔径在 0.2 ~ 0.3 μm 之间的微孔。Gore-Tex 防水透湿膜便是由双向拉伸法制备的。将干燥的 PTFE 细粉采用冷压和烧结技术制备成初胚,然后在高温状态下进行纵横向快速拉伸,最后进行热定型,得到防水透湿微孔膜^[19]。其透湿量达 3 934.8 g/($\text{m}^2 \cdot \text{d}$),渗水水压可高达 565 kPa,但是该工艺耗时、耗财,难以适应大批量生产^[20]。

熔融挤出法可分为吹塑薄膜挤出和平挤薄膜挤出,适用于亲水性薄膜和涂层^[21]。吹塑薄膜挤出法经济实惠,吹胀比可控;平挤薄膜挤出法则可以得到较厚的薄膜。

相分离法通常用来制备疏水微孔膜。将聚合物与高沸点易挥发的溶剂相溶合,利用膜具制成膜状。利用聚合物和溶剂沸点的差异,形成聚合物的富集相和溶剂的富集相^[22],其中聚合物为连续相,而溶剂为分散相^[23],然后加入适当的萃取剂,使溶剂挥发,从而在聚合物薄膜上形成微孔。

闪蒸法也称急骤纺丝法。将成纤高聚物溶于适当的溶剂中均匀混合,然后通过喷丝孔快速喷出,在一定的速度和压力下,溶剂迅速挥发,聚合物拉伸固化成极细纤维,最后在成网帘上形成纤网^[24]。这种方法制造出的产品强度大、质量轻,耐撕裂和耐穿刺等防护性能好,并且防水透气,具有广阔的发展前景。

静电纺丝法多应用于疏水性多孔膜。在高压电场中,聚合物溶液或熔体从毛细管中喷射出来,在电场力的作用下拉伸成纤,最后在接收装置上成膜。静电纺纳米纤维膜直径小,比表面积大,孔隙

率高且孔道连通性好。在聚合物中添加一些功能性助剂或无机粒子可制成多组分纺丝液,使功能膜具有更多功能。例如将银、溴、铜、锌等离子加入到纺丝液中,使纺丝液具有抗菌、阻燃、防静电等功能^[25]。同时,加入辅助电机和附加电压,或改变喷丝装置制造多级结构静电纺纤维。JU J 等^[26]通过直接静电纺丝复合法制备由纯 TPU 纳米纤维膜(疏水性)和 TPU/TBAC 树状纳米纤维膜(亲水性)组成的双层膜(四丁基氯化铵(tetrabutylammonium chloride, TBAC)),将这种双层膜用作防水透气材料,具有湿气单向传输性能和良好的屏蔽性能。

4 防水透湿织物的发展趋势

4.1 防水透湿织物的智能化

科学技术的进步为实现防水透湿服装的智能化奠定了良好的基础。面料的智能化也是纺织品发展的重要方向,将大大改善人们的生活质量。

智能调湿服装是防水透湿智能服的代表。在高温的状态下,需要服装具有高透湿性能,以使汗液快速排出保持人体干燥舒适;在低温状态下,需要服装具有低透湿性能,以便更好达到封闭性,从而维持人体的热量。调节好人体与服装之间的“微气候区”,对于提高服装的舒适性能有着重要的意义。具有调湿功能的聚氨酯智能膜是智能调湿膜的一种。聚氨酯智能膜通过调节聚氨酯树脂硬链段和软链段的比例,使其拥有适当的玻璃化温度^[27],从而达到调湿的作用。当温度高于玻璃化温度时,材料中分子布朗运动较大,产生的分子间隙变大,水汽分子穿过分子间隙扩散到外界空气中,透湿量增加,有利于人体汗液排出;当温度低于玻璃化温度时,分子间隙迅速缩小,透湿量减小。由于此智能膜具有无孔结构,因此防水性较好。同属智能防水透湿织物的有日本的 Diaplex 和美国的 Qualitex 产品^[28]。

目前防水透湿织物亟需解决的问题是材料对于温度感应的灵敏度问题以及原料的环保问题^[29]。随着纺织工艺的进步,可以考虑制备超细或中空纤维;也可以用无机离子处理材料表面,提高织物的比表面积;还可以考虑采用光催化或等离子体处理等手段对织物进行单面整理,提高吸湿性能。

4.2 防水透湿织物的多功能化

随着人们生活水平的提高,对服装的多功能性的需求日益强烈。在织物具备防水透湿功能的同时,要尽可能满足人们的其他需求,提高生活质量。例如,PTFE 是一种含氟聚合物,具有“三高两憎”的

特性,即高表面活性、高热稳定性和高化学稳定性,憎水、憎油,因此可以用它制造防水透湿易去污微孔膜。Gore 公司将高耐热的 Silicone 发泡体添加到 PTFE 微孔膜上,在难燃面料与里料之间形成空气隔热层,应用到消防服装中使其透气舒适。

崔俊杰等^[30]选用多孔绵、TPU 薄膜,以机织物为面层,摇粒绒为基材,利用湿固化聚氨酯热熔胶黏剂,通过 2 或 3 次层压复合试制系列复合织物样品,基本解决防水透湿服装在极地保暖性能不足的问题。

采用相分离技术制造具有特殊功能的微胶囊也可以赋予织物更多的特性。在含有壳层聚合物和功能型芯层聚合物的混合溶液中加入适当的溶剂,使得壳层包裹着芯层从溶剂中分离出来,形成微胶囊,再将微胶囊整理到织物上,使服装在防水透湿的同时具有一定的功能,如芳香型微胶囊、防紫外线微胶囊、抗菌除臭微胶囊等。

在防水透湿涂层剂中加入其他添加剂,也是改善织物品质的的重要手段^[31]。王可等^[32]将荧光材料稀土铝酸锶粉末混于 PU 树脂作为胶料制备荧光防水透湿薄膜,并和细旦尼丝纺基布层压贴合,开发了荧光防水透湿面料。经检测产品的荧光性能、防水透湿性能和物理性能优异,可应用于高档荧光防水透湿特种防护面料。

综上所述,研发织物时,可将其防水透湿功能与其他功能相结合,开发出符合未来发展趋势的新型面料。

4.3 防水透湿织物的环保化

纺织面料的环保化是现代生产加工的重要课题,包含了从面料生产到服装后整理的各环节。当前的纺织品加工处理中多使用甲苯、聚氨酯、二甲基甲酰胺等有机溶剂。有机溶剂可以溶解部分不溶于水的有机化合物,在生产生活中应用广泛,但它具有易挥发,难以回收的特点,且对环境和人体都有很大危害,因此相关环保法规对有机溶剂的使用进行了限制。以水为介质的水性聚氨酯有着不易燃、气味小、不污染环境、节能、操作加工方便等优点,逐步取代溶剂型聚氨酯已成为发展的必然趋势^[33]。

逐渐商品化的含氟整理剂分解后会产生全氟辛烷磺酰基化合物,是一种极难降解的有机污染物。应用防水剂涂层整理后的织物,多次洗涤后可能会发生整理剂脱落的现象,不仅防水透湿功能减弱,而且对人体和环境具有潜在的威胁。引入 SiO₂ 等纳米颗粒处理无氟防水透湿膜,增大比表面积,构

建多级结构粗糙表面,可提高织物表面的可润湿性。

Sympatex 是一种安全环保的新型材料,它在加工处理、废物降解以及焚烧的过程中都不会发生化学反应,完全无污染。并且它具有优良的防水、防风、耐弯曲、耐磨损性能,可广泛运用于运动服、鞋类、配饰中^[34]。

5 结 语

随着科技创新的不断推进,高新纺织机械、新型纤维材料、高端生产技术不断涌现,为纺织业的发展提供了动力。为促进纺织业的发展、满足人民日益增长的美好生活需要,发展功能性纺织品日趋重要。在灵活利用各种机理实现功能性的同时,吸收和嫁接新兴技术,推动纺织业从“汗水型”走向“智能型”。

防水透湿功能织物可满足人们对舒适性的需求,具有非常广阔的前景,它既能避免恶劣天气下雨雪的入侵,也能使人体汗液快速排出。在制造产品时要注意分析不同加工方式和透湿机理制成的防水透湿织物所拥有的不同特点,同时考虑到工艺难易和生产成本,实现产业化。伴随着高分子材料学的发展以及制造方法的研发改进,未来将会出现具有高防水透湿性且对环境友好的多功能织物。

参考文献:

- [1] 黄机质,张建春. 防水透湿织物的发展与展望[J]. 棉纺织技术,2003,31(2):5-8.
HUANG Jizhi, ZHANG Jianchun. Outlook and development of waterproof and moisture permeable fabric[J]. Cotton Textile Technology, 2003, 31(2): 5-8. (in Chinese)
- [2] 闫嘉琨. 防水透湿电纺膜的研制[D]. 天津:天津工业大学,2013.
- [3] 徐旭凡,周小红,王善元. 防水透湿织物的透湿机理探析[J]. 上海纺织科技,2005,33(1):58-60.
XU Xufan, ZHOU Xiaohong, WANG Shanyuan. Study on moisture permeability principle of waterproof and moisture permeable fabric[J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2005, 33(1): 58-60. (in Chinese)
- [4] SHAO J, WANG C, ZHOU J, et al. Waterproof and moisture permeable coating of polyester fabrics using a novel waterborne polyurethane agent modified with silk fibroin and polyvinylpyrrolidone[J]. Journal of the Textile Institute Proceedings and Abstracts, 2017, 108(5):6.
- [5] 周珊珊,杨群,陈鹏,等. 热压法制备防水透湿层压复合织物[J]. 粘接,2016(7):67-70.
ZHOU Shanshan, YANG Qun, CHEN Peng, et al. Study of hot-pressing process to prepare waterproof and moisture

- permeable laminated fabric[J]. Adhesion, 2016(7): 67-70. (in Chinese)
- [6] 赵磊,樊理山. 防水透湿PU膜层压复合机织物的性能研究[J]. 产业用纺织品, 2013, 31(2): 11-14.
ZHAO Lei, FAN Lishan. Research on the performance of waterproof and moisture permeable PU film laminated fabrics[J]. Technical Textiles, 2013, 31(2): 11-14. (in Chinese)
- [7] 张敏. 聚偏氟乙烯/聚乙烯醇缩丁醛复合纳米纤维膜的制备及其防水透湿性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2017.
- [8] 翟娅茹,沈兰萍. TPU薄膜在防水透湿织物中的应用[J]. 纺织科技进展, 2018(5): 1-3, 6
ZHAI Yaru, SHEN Lanping. Application of TPU film in waterproof and moisture permeable fabric[J]. Progress in Textile Science and Technology, 2018(5): 1-3, 6 (in Chinese)
- [9] YU F, ZHANG C, MA Y, et al. Development of TPU-wool woven laminate waterproof and moisture permeable fabrics[J]. Wool Textile Journal, 2017, 45(9): 34-37.
- [10] 周立群,孟家光. 防水透湿织物的现状与发展[J]. 纺织科技进展, 2010(1): 38-39.
ZHOU Liqun, MENG Jiaguang. Current situation and development of waterproof and moisture permeable fabric[J]. Progress in Textile Science and Technology, 2010(1): 38-39. (in Chinese)
- [11] HAO X, ZHANG J, GUO Y. Study of new protective clothing against SARS using semi-permeable PTFE/PU membrane[J]. European Polymer Journal, 2004, 40(4): 673-678.
- [12] 郝新敏,张建春,周国泰,等. 可重复使用透湿型SARS防护服材料的研究[J]. 西安工程大学学报, 2003, 17(3): 206-211.
HAO Xinmin, ZHANG Jianchun, ZHOU Guotai, et al. A study on materials of protective clothing for anti-SARS with reaptable wear and water vapor permeability[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2003, 17(3): 206-211. (in Chinese)
- [13] 刘延波,赵雪菲,杨文秀,等. PVDF/PVDF混纺纳米纤维防水透湿膜的开发[J]. 天津工业大学学报, 2016, 35(6): 8-13.
LIU Yanbo, ZHAO Xuefei, YANG Wenxiu, et al. Preparation of PVDF/PVDF nanofibrous blend as waterproof and breathable membrane[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2016, 35(6): 8-13. (in Chinese)
- [14] 刘雍,马敬安. 防水透湿织物的研究现状及发展趋势[J]. 中原工学院学报, 2004, 15(3): 37-40.
LIU Yong, MA Jing'an. The present research status and development tendency of waterproof and moisture permeable fabric[J]. Journal of Zhongyuan University of Technology, 2004, 15(3): 37-40. (in Chinese)
- [15] SI Y, LIU Y, DING C, et al. Ultralight biomass-derived carbonaceous nanofibrous aerogels with superelasticity and high pressure-sensitivity[J]. Advanced Materials, 2016, 28(43): 9512-9518.
- [16] WILLIAMS J T. Waterproof and water repellent textiles and clothing [M]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2018.
- [17] 高尧鸽,张文博,马建中. 防水透湿织物的研究进展[J]. 印染, 2011, 37(21): 45-50.
GAO Dangge, ZHANG Wenbo, MA Jianzhong. Research and development of moisture-management fabric[J]. Dyeing and Finishing, 2011, 37(21): 45-50. (in Chinese)
- [18] 生俊露. 静电纺纳米纤维防水透湿膜的加热/涂层改性及性能优化研究[D]. 上海: 东华大学, 2017.
- [19] 韦朝晖,顾振亚. 聚偏氟乙烯防水透湿微孔膜的研制[J]. 纺织学报, 2000, 21(4): 4-7.
WEI Zhaohui, GU Zhenya. The development of waterproof moisture-permeable micro-pore membrane from polyvinylidene fluoride[J]. Journal of Textile Research, 2000, 21(4): 4-7. (in Chinese)
- [20] 陈益松,唐晓楠. Gore-Tex面料透湿性能对比测试[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2018, 44(2): 232-237.
CHEN Yisong, TANG Xiaonan. Comparison tests of goretex fabric moisture permeability[J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2018, 44(2): 232-237. (in Chinese)
- [21] 周宇,朱方龙. 防水透湿复合膜的研究现状[J]. 中国个体防护装备, 2013(1): 10-14.
ZHOU Yu, ZHU Fanglong. Current situation of functional clothing waterproof and moisture permeable laminated film[J]. China Personal Protection Equipment, 2013(1): 10-14. (in Chinese)
- [22] 吴光楠. 抗菌性聚氨酯纳米纤维膜的制备及其防水透湿性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2017.
- [23] JAISWAL P K, BINDER K, PURI S. Formation of metastable structures by phase separation triggered by initial composition gradients in thin films[J]. Journal of Chemical Physics, 2012, 137(6): 357.
- [24] 孙晓慧,郭秉臣. 闪蒸法非织造布的生产与应用前景[J]. 非织造布, 2006, 14(6): 8-11.
SUN Xiaohui, GUO Bingchen. Development and application foreground of flash nonwovens[J]. Nonwovens, 2006, 14(6): 8-11. (in Chinese)
- [25] 张丽,王娇娜,李从举. 电纺膜夹层防水透湿层压织物的研究进展[J]. 产业用纺织品, 2012, 30(7): 1-4.
ZHANG Li, WANG Jiaona, LI Congju. The research progress on waterproof moisture permeable laminated fabric based on electrospun fibrous membrane[J]. Technical Textiles, 2012, 30(7): 1-4. (in Chinese)