

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.11.027

单向导液非织造材料成型方法及其应用进展

周忠成¹,周衡书^{1,3},张恒^{2,4},周蓉¹,崔景强⁴

(1. 湖南工程学院纺织服装学院,湖南湘潭 411104; 2. 中原工学院纺织学院,郑州 451191;
3. 湖南省新型纤维及面料加工工程技术研究中心,湖南湘潭 411104; 4. 河南省医用高分子材料技术与应用重点实验室,河南新乡 453400)

摘要: 阐述了浸润梯度效应、差动毛细效应、蒸发冷凝效应三种单向导液机理,重点介绍了化学整理法、等离子法、针刺法、水刺法、静电纺丝法五种主要的非织造材料单向导液成型方法及其特点,以及非织造材料单向导液材料的应用领域和当前研究的最新成果。指出单向导液非织造材料有效解决了非织造材料对液体传输方向的问题,并且极大地丰富了非织造纤维材料的功能化与多元化应用。

关键词: 单向导液; 非织造材料; 成型方法; 应用进展

中图分类号: TS174 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)11-0141-06

One-way Liquid Nonwoven Material Forming Method and Its Application Progress

Zhou Zhongcheng¹, Zhou Hengshu^{1,3}, Zhang Heng^{2,4}, Zhou Rong¹, Cui Jingqiang⁴

(1. College of Textile and Clothing, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411104, China;

2. College of Textiles, Zhongyuan university of technology University, Zhengzhou 451191, China;

3. Hunan Province New Fiber and Fabric Processing Engineering Technology Research Center Xiangtan 411104, China;

4. Henan Provincial Key Laboratory of Medical Polymer Materials Technology and Application Henan, Xinxiang 453400, China)

Abstract : Three unidirectional liquid-conducting mechanisms were described : infiltration gradient effect, differential capillary effect, and evaporation condensation effect. It focuses on the five main non-woven materials unidirectional liquid forming methods and their characteristics, including chemical finishing, plasma, needle punching, hydro-spinning, and electrostatic spinning, as well as the application fields and applications and the latest results of current research of non-woven unidirectional liquid materials. It was pointed out that unidirectional liquid conducting nonwovens could effectively solve the problem of liquid transmission direction of nonwovens, and greatly enrich the functionalization and diversified application of nonwovens.

Keywords : one-way guide liquid ; nonwoven ; molding method ; application progress

单向导液是自然界的一种常见现象,如仙人掌刺^[1]、蜘蛛丝^[2]、瓶子草^[3]和猪笼草^[4]。近年来,一些学者通过仿生学原理,在定向液体传输领域取得了一定的研究进展。单向导液也称为“流体二极管”、“定向芯吸”或“定向门”,是指允许液体从材料的一面穿过另一面,但不允许反向传导。该技术最初运用于传统纺织行业的服装面料为了使汗液快速从皮肤表面传导挥发出来,将织物设计成内外两层疏水性不同的材料,内层材料具有疏水性,外层材料具有亲水性,汗液从疏水层向亲水层传导,使人体获得良好的舒适感。

非织造材料因其具有纤维比表面积大、纤维相互连接

成三维网状结构、孔径较小且不规则等特点,被广泛应用于医疗卫生^[5]、油水分离^[6]、自清洁^[1]、空气过滤^[7]和国防军工^[8]等领域,已经成为了全球纺织行业重要增长点之一。

2020年新冠疫情的出现,人们对非织造材料有了更高的要求^[9]。医疗防护服不仅要对病菌具有高效屏蔽功能,同时具有从皮肤表面将液态汗水通过多层防护面料导向服装的表面,满足人体的热湿舒适性能,单向导湿功能显得更加重要。笔者通过分析单向导液的机理,重点介绍了非织造材料单向导液的成型方法、产品的应用领域以及当前研究的最新成果。

基金项目: 湖南省重点领域研发计划项目(2019NK2071),湖南工程学院研究生科技创新项目(湘教通[2020]80号)

通信作者: 周衡书,教授,主要从事纺织新材料及现代纺织技术研究 E-mail: 1650577435@qq.com

收稿日期: 2020-09-02

引用格式: 周忠成,周衡书,张恒,等. 单向导液非织造材料成型方法及其应用进展[J]. 工程塑料应用,2020,48(11):141-146.

Zhou Zhongcheng, Zhou Hengshu, Zhang Heng, et al. One-way liquid nonwoven material forming method and its application progress[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(11):141-146.

1 单向导液机理

液体单向运输是指液体在外场(如压力场、光、磁等)或内应力的作用下,沿某一特定的方向发生移动或渗透而在该特定方向的相反方向不发生移动或透过的现象^[10]。现有的研究认为液体在非织造材料内的单向传输是基于以下三个方面:浸润性梯度效应、差动毛细效应和蒸发冷凝效应。

1.1 润湿梯度效应

润湿梯度效应是指由于材料表面化学组成^[11]或表面粗糙度^[12]各向异性会引起润湿梯度效应。在浸润性不同的区域,材料对水的吸附能力不同导致在材料垂直方向产生压力差,从而产生单向导液效应。Tian Xuelin等^[13]使用一个由间隔无限长的微柱组成的膜,如图1所示,通过沿厚度方向浸润性的不同,研究分析液体的传输行为。

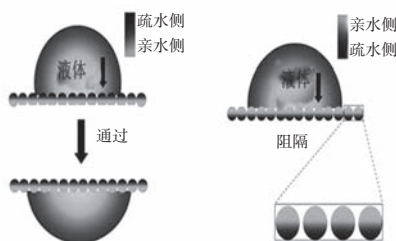
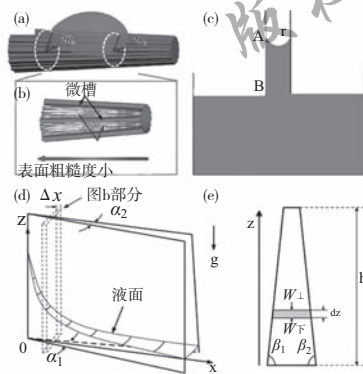


图1 各向异性液体通过微圆柱膜的渗透,其厚度具有润湿性梯度^[13]

1.2 差动毛细效应

差动毛细效应是指含有细微孔隙的物体与液体接触时,使该液体沿孔隙上升或下降的现象^[14],如图2所示。



a—多重沟槽覆盖的刺表面^[15]; b—微沟产生的粗糙度梯度^[15];
c—圆柱管在水槽产生的毛细上升^[16]; d—梯度楔角中毛细上升^[17];
e—毛细上升剖视图^[17]

图2 液滴定向运动原理示意图

织物中形成差动毛细效应可以改变纤维细度、截面形状、纱线捻度、纱线直径、纱线伸长量和织物密度等^[18]。在非织造材料中,当不同层纤网之间形成毛细管的孔径不同时,两层织物界面会产生压力差,导致液体向固定的一侧传输。早在20世纪初,E. Buckingham^[19]提出毛细管势能的概念,这个理论为织物液体传输的研究提供了参考。近年来,有学

者研究了液体在材料中的传输特性,王其等^[20]从理论上描述影响模型功能的因素,建立并优化了高导湿纱线模型。Li Caixiong等^[21]建立动态非对称枝状毛细管模型,并通过实验表明了不对称枝状毛细管的结构可使液体向单一方向传输。Wang Xianfeng等^[12]用仿生多分支网络和类叶脉纳米纤维膜设计的分层系统表明,多尺度互连的多孔结构所形成的差动毛细效应在超快水的运输和蒸发中起着主导作用。

1.3 蒸发冷凝效应

蒸腾作用的灵感来自自然植物的水传输^[22]。如图3所示,植物在光照、风吹等因素作用下,体内的液态水从体表(叶片、枝条、茎的表面)以气态散发到空气中去,且水蒸气的排放速率远大于自由水表面的蒸发速率^[23]。非织造材料由于纤维较细,内部孔隙率高,易形成毛细效应,在内聚力等作用下产生蒸腾作用。

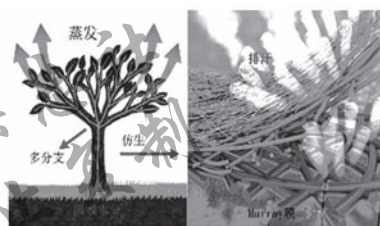


图3 植物的蒸腾作用^[12]

2 单向导液非织造材料成型方法

基于非织造材料实现单向导液性能是通过非织造材料亲/疏水性双侧结构且沿某一方向呈现连续变化,让材料的功能或性质沿单一方向发生改变^[24-25],主要的制备工艺有:后整理法(化学整理和等离子处理法)和直接成网法(针刺法、水刺法和静电纺丝法)。

2.1 后整理法

通过化学方法或物理方法对非织造材料表面进行功能改性,使其整理面对水有不同的浸润性,形成亲/疏水双侧结构,达到单向导液的目的。后整理法主要从表面能的大小和表面形态结构两个方面对材料进行整理。

(1) 化学整理。

①单面亲水整理。

单面亲水整理是将疏水材料一面进行亲水整理,使亲水整理剂均匀地吸附固着在织物表面形成化合物来使其一面的浸润性不同,在差动毛细效应的作用下,实现单向导液的功能^[26]。秦志^[27]通过单侧浸泡工艺,将乙醇超声振荡清洗后的PP无纺布经干燥后放在邻苯二酚(CCH)和聚乙烯亚胺(PEI)溶液中单面浸泡,得到单向导水非织造布。

②单面疏水整理。

单面疏水整理是亲水材料的一面进行亲水整理,使疏水整理剂均匀地吸附固着在织物表面形成化合物来使其一

面的浸润性不同,形成差动毛细效应,实现单向导液的功能。齐国瑞等^[28]用无氟拒水剂 RUCO-DRY ECO 通过自制雾化装置,对纯棉水刺非织造材料进行了单面拒水整理,如图 4 所示,雾化处理后和处理后的接触角不同。当液体从亲水面滴向拒水面时,液体没有穿透材料而是在水平面传递,当液体从疏水面滴向亲水面时,材料表现出了良好的拒水效果,随时间向亲水一侧渗透,实现导向导水功能。

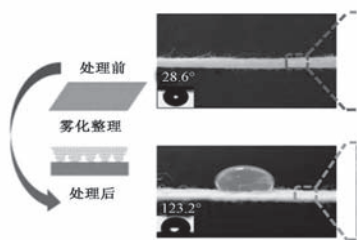


图 4 雾化拒水整理前后电镜照片对比图^[28]

③双面亲疏水整理。

有一些学者在单面整理的基础上对非织造材料的两面分别进行了亲/疏水整理,材料两面形成梯度浸润效应,产生差动毛细效应,使液体产生了单向导液。王洁等^[29]使用泡沫整理法对聚丙烯 SMS 非织造布一面进行单面亲水整理,另一面进行三拒抗整理,整理材料厚度是可以实现单向导液的关键因素,如果整理材料太厚或太薄,则难以形成梯度差,无法实现单向导液的目的。

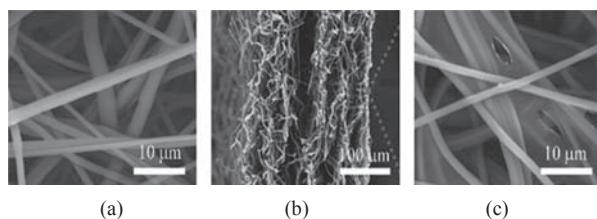
近年来,国内对非织造材料的单向导液的整理基材以纯棉水刺无纺布和聚丙烯 SMS 无纺布为主,整理方式有喷洒法、泡沫法和喷雾法,见表 1。

表 1 化学整理单向导液非织造材料

研究者	整理条件	整理剂	基材	方式
任祺 ^[30]	单面亲水	Hanise QS-CONS	聚丙烯 SMS	喷洒
马若阳 ^[31]	单面亲水	TF-629	聚丙烯 SMS	泡沫
周晓洁 ^[32,33]	单面亲水	FG-910 / Hanise QS-CONS	纯棉水刺布 / 聚丙烯 SMS	喷洒
曲方圆 ^[34]	单面亲水	TF-629A	聚丙烯 SMS	泡沫
齐国瑞 ^[28]	单面疏水	RUCO-DRY ECO	纯棉水刺布	喷雾
王洁 ^[29]	双面亲疏水	TG-580 / TF-629	聚丙烯 SMS	泡沫

(2) 等离子改性法。

等离子体处理可以改变材料化学和物理表面性质,而不影响其体积特性,广泛使用的表面改性技术之一^[35]。蒋佩林等^[36]通过低温等离子体和涂层工艺组合的方法,制备了壳聚糖/聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)单向导液非织造材料。如图 5 壳聚糖/PBT 单向导液非织造材料的 SEM 图所示,等离子体处理可使纤维与壳聚糖薄膜黏结在一起,表面空隙减少且变小;纤维相互连接更为紧密,未经过处理一侧纤维较蓬松,形成的的这一结构可以实现液体的单向传输性能。



a—未处理面;b—界面;c—处理面

图 5 PBT/壳聚糖单向导液非织造材料的 SEM 图^[36]

2.2 直接成型法

(1) 针刺法。

针刺单向导液非织造材料一般是选择两种亲水性不同的纤维经过梳理成网后通过针刺使两层纤网复合在一起。由于纤网层纤维的差异,致使两层纤网之间产生差动毛细效应和浸润梯度效应,从而使复合纤网单向导液。江奇佳等^[37]利用针刺设备将单层黏胶纤维网和单层涤纶纤维网复合加固在一起,两层纤网纤维之间的相互穿插、缠绕形成梯度变化,有利于水分的传递,获得了单向导液性能的复合纤维网。如图 6 所示。通过将黏胶纤维层配置在近外界环境一侧,涤纶纤维网配置在近人体一侧,可以实现皮肤表面液体向外传导,外界水分被阻隔,具有较好的单向导液能力。

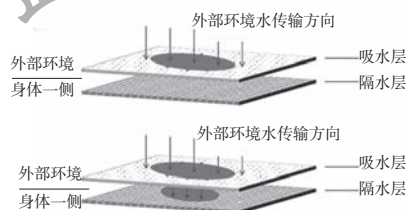


图 6 涤/粘复合纤维网吸收身体内部水分示意图^[37]

有些学者在针刺的基础上采用与热风粘合相结合的方法制备单向导液非织造材料。张恒等^[38]通过针刺和热风粘合的方法,以聚酯纤维层与黏胶纤维层上下叠放形成“梯度结构”的材料如图 7 所示。具有梯度结构的聚酯/黏胶热风非织造材料使液体的传输性能向单一方向呈连续分布。

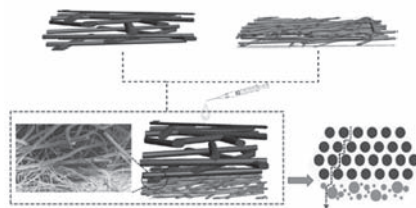


图 7 聚酯/粘胶热风非织造材料的“梯度结构”设计理念示意图^[38]

(2) 水刺法。

水刺法单向导液非织造材料的原料选择和结构设计和针刺法相似,通过材料在结构上形成梯度变化,实现单向导液的性能。王伟等^[39]通过水刺工艺以黏胶纤维、二维卷曲涤纶和三维卷曲涤纶为原料,制备单向导液水刺非织造材料,且在相同复合方式及工艺参数下,二维卷曲涤纶复合水

刺布的定向导水指数均大于相同复合方式的三维卷曲涤纶水刺布。

(3) 静电纺丝法。

静电纺丝技术是指在静电场中,带电的高分子溶液或者熔体进行喷射纺丝生产出直径为纳米级的细丝^[40]。基于静电纺丝形成的纤维直径可控制,比表面积大,孔隙率高等特点,有学者通过层层电纺出不同浸润性聚合物的方法,实现膜材料在厚度方向浸润性梯度的构筑,从而驱动液体的单向透过^[41]。A. Ahmed Babar 等^[42]采用一步法将纺丝溶液直接电纺在包裹在旋转金属圆筒上的聚对苯二甲酸乙二醇酯无纺布(CNW)表面,如图8所示。随着溶液中Ag NP含量的增加,覆盖纳米网也随之增加,PA-Ag纳米纤维层厚度的增加,水从顶层到底层的传输速率得到了改善,CNW和纳米纤维网的多尺度互连纤维结构,导致了定向的水分传输,并具有极高的单向湿气传输指数。

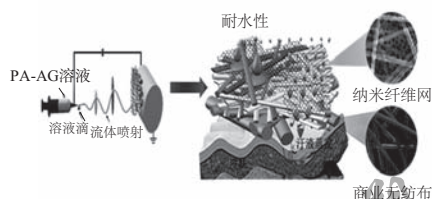


图8 制作过程的示意图^[42]

同时双层结构很难满足对完全干燥内层的要求,为此,有学者在双层纤维膜中间引入了疏水层和超亲水层之间具有润湿性的转移层,以连续引导水的输送,在双层膜的基础上设计了三层膜结构。Miao Dongyang 等^[43]制备了PAN-SiO₂溶液、PUR溶液和PUR-PAN混合溶液,通过静电纺丝制备(PUR-PAN)/(PAN-SiO₂)双层纤维膜,然后将疏水性PU膜电纺丝沉积到PUR-PAN膜上,以形成三层结构,再把三层结构的纤维网水解形成PUR/(PUR-HPAN)/HPAN-SiO₂如图9所示,三层纤维膜的单向传输指数R达到1021%,反向所需穿透压力达到16.1 cm H₂O,表明具有超高的定向水传输能力。

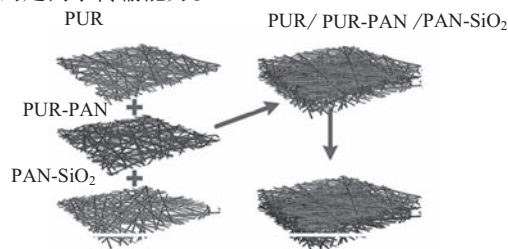


图9 三层PU/(PU-HPAN)/HPAN纤维膜制造流程图^[43]

以上两大类单向导液非织造材料成型方法中,化学整理法虽然简单,但化学整理法对人体和环境有一定危害,化学整理后的材料水蒸气传导性能会下降,且易受外界条件温

度、酸碱度等条件的影响,因此,开发无毒,无害,环保且性能稳定的整理剂是化学制备单向导液材料的必然趋势。而直接成型法是采用物理方法使材料的两侧产生梯度浸润性和差动毛细效应,与化学后整理法相比具有安全、可靠,且单向导液性能稳定,受到了学者的关注。

3 应用领域

单向导液非织造材料目前已被广泛用于油水分离、自清洁、医疗卫生、雾收集和功能性纺织品等领域。

3.1 油水分离

传统的油水分离方法有重心法、燃烧法和化学处理法,但这些处理方法效率低、耗能较大,对油水混合物的回收利用性差,会产生二次污染,且只适用于简单的油水分离^[44]。针对上述问题,油水分离膜,利用材料两侧对油、水浸润性的不同,实现油、水的单向传输,达到油水分离的效果。黄浩^[45]通过熔喷纺丝法制备了超疏水-超亲油特性的PPS超细纤维膜,在重力作用下油水分离效率高达99.5%,且具有良好的循环使用性能。张贤等^[46]采用等离子体气相接枝的方法,将八甲基环四硅氧烷(D4)聚合于静电纺丝制备的醋酸纤维(CA)膜表面,制备单面超疏水单面亲水的Janus型CA纤维膜分离率高、重复利用性好、制备工艺简单,分离过程方便,能有效解决油水分离问题。附青山等^[47]用静电纺丝技术在多孔聚乙烯瓶上沉积聚丙烯腈(PAN)纤维膜,制备了具有高效油水分离性能的分膜装置,该装置对多种油水混合物实现近100%分离,且循环分离稳定性好。

3.2 医疗卫生

非织造材料由于独特的生产技术,材料的表面毛羽较少,质量稳定,无落絮问题,不易出现黏连患处的问题,可进一步降低感染,在医疗卫生中被广泛应用。Wang Zhe 等^[48]通过将金属ZIF-8掺入PAN中以制备具有高度表面糙度的纤维,并通过静电纺丝将粗糙的纤维层与PAN纳米纤维层交替堆叠,从而形成多层结构化膜。该材料具有优良的定向水分传输性能和高水蒸气传输率,且对0.3 μm颗粒的去除率为99.973%,对其他粒径的颗粒,包括危害较大的超细颗粒的去除率为99.99%。可以使这种膜应用到口罩和呼吸机滤芯上。蒋佩林^[49]通过将壳聚糖用涂层技术和交联技术手段,制备了PBT/壳聚糖单向导液非织造材料,并应用于细胞过滤与释放,具有良好的生物相容性;过滤前后对细胞活性没有显著影响,在重复使用50次后,仍然保持细胞收集率和膜通量不变,具有良好的可重复使用性能。崔景强等^[50]通过针刺工艺以壳聚糖纤维与聚酯纤维纤网为保湿层,聚酯纤维纤网为导湿层设计了具有梯度结构的壳聚糖纤维敷料,随着壳聚糖纤维的增加,复合材料的透湿量和吸液性都有所加强。

3.3 自清洁

随着膜分离技术被广泛应用在油水分离中,由于各种污染物严重限制了膜的使用寿命;同时,污水中强烈的化学腐蚀也严重限制了膜的耐用性^[51]。因此开发和制备具有自清洁的高效材料具有重要意义。Chen Shenqiu等^[52]通过将聚磺基甜菜碱甲基丙烯酸酯(PSBMA)和电纺聚醚砜(PES)纳米纤维原位交联而具有自清洁功能的纳米纤维膜(NFM)。PSBMA/PES纳米纤维膜经过3个循环的原油污垢自清洁和长达7d的细菌附着力排斥实验,该材料不但具有出色的防污能力、抗菌性能、高分离性能,在酸性和碱性环境中还具有出色的化学稳定性。

4 结语

(1)液体在非织造材料内的单向传输原理均基于以下三个方面:浸润性梯度效应、差动毛细效应和蒸发冷凝效应。

(2)单向导液的性能主要通过后整理法和直接成型法。后整理方法通过对非织造材料单面整理实现单向导液性能;直接成型法以双层或多层复合网结构和膜结构实现单向导液性能。

(3)后整理法和直接成网法二类成型方法相比较,后整理法虽然简单,但化学整理剂对人体和环境有一定危害,且易受外界条件温度、酸碱度等条件的影响,直接成型法具有安全、可靠,且单向导液性能稳定。

(4)单向导液非织造材料作为一种功能性材料,有效的解决了非织造材料对液体传输方向的问题,并且极大地丰富了非织造纤维材料的功能化与多元化应用。单向导液非织造材料将朝着自洁性、抗菌性等多功能复合方向发展。

参考文献

- [1] Jiang Chi, et al. *Applied Surface Science*, 2019, 463(1):34–44.
- [2] Venkatesan H, et al. *Advanced Functional Materials*, 2020. doi:10.1002/adfm.202002437.
- [3] Yang Gan, et al. *Journal of Bionic Engineering*, 2018, 15(1):34–41.
- [4] Yu Cunming, et al. *Advanced Materials*, 2017. doi: 10.1002/adma.201703053.
- [5] Olivo T. *Nonwovens Industry*, 2017, 48(8):32–38.
- [6] Mousa H M, et al. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 2020. doi:10.1016/j.enmm.2020.100314.
- [7] Zhang Haifeng, et al. *Journal of Applied Polymer Science*, 2019. doi:10.1002/app.47827.
- [8] 王炳辉. 非织造吸声材料理论研究与实践[D]. 天津:天津工业大学, 2010.
Wang Binghui. Theoretical research and practice of nonwoven sound-absorbing materials[D]. Tianjin: Tiangong University, 2010.
- [9] 张哲,等. 纺织导报, 2019(6):96–99.
Zhang Zhe, et al. *China Textile Leader*, 2019(6):96–99.
- [10] 皮浩弘,等. 功能材料, 2019, 50(2):76–85.
Pi Haohong, et al. *Journal of Functional Materials*, 2019, 50(2):76–85.
- [11] Daniel S, et al. *Science*, 2001, 291(5504):633–636.
- [12] Wang Xianfeng, et al. *ACS Nano*, 2019. doi: 10.1021/acsnano.8b08242.
- [13] Tian Xuelin, et al. *Soft Matter*, 2012, 8(9):2633.
- [14] Qiu Jishen, et al. *The Journal of Engineering*, 2020, 2020(3):98–103.
- [15] Tian Xuelin, et al. *Advanced Functional Materials*, 2011. doi:10.1002/adfm.201002061.
- [16] Guo Zhiguang, et al. *Nanoscale*, 2018. doi:10.1039/C8NR04354 J.
- [17] Chen Huawei, et al. *Nature*, 2016, 532(7597):85–89.
- [18] 王其,等. 东华大学学报:自然科学版, 2002(3):34–36.
Wang Qi, et al. *Journal of Donghua University: Natural Sciences*, 2002(3):34–36.
- [19] Buckingham E. *US Department of Agriculture Soils Bulletin*, 1907, 38:61.
- [20] 王其,等. 上海纺织科技, 2002(4):13–15.
Wang Qi, et al. *Shanghai Textile Science & Technology*, 2002(4):13–15.
- [21] Li Caixiong, et al. *World Scientific*, 2016, 24(2). doi:10.1142/S0218348X16500249.
- [22] 曾庆军. 科技创新导报, 2012(26):223–225.
Zeng Qingjun. *Science and Technology Innovation Herald*, 2012(26):223–225.
- [23] 郝习波,等. 纺织学报, 2015, 36(7):157–161.
Hao Xibo, et al. *Journal of Textile Research*, 2015, 36(7):157–161.
- [24] Gupta A, et al. *Progress in Aerospace Sciences*, 2015, 79(11):1–14.
- [25] Naebe M, et al. *Applied Materials Today*, 2016, 5:223–245.
- [26] 王伟,等. 纺织学报, 2016, 37(5):167–172.
Wang Wei, et al. *Journal of Textile Research*, 2016, 37(5):167–172.
- [27] 秦志. 仿贻贝功能化聚丙烯非织造布的研究[D]. 天津:天津工业大学, 2019.
Qin Zhi. Study on functionalized polypropylene non-woven fabric imitating mussel[D]. Tianjin: Tiangong University, 2019.
- [28] 齐国瑞,等. 纺织学报, 2019, 40(7):119–127.
Qi Guorui, et al. *Journal of Textile Research*, 2019, 40(7):119–127.
- [29] 王洁,等. 东华大学学报:自然科学版, 2014, 40(4):476–480.
Wang Jie, et al. *Journal of Donghua University: Natural Sciences*, 2014, 40(4):476–480.
- [30] 任祺,等. 产业用纺织品, 2012, 30(11):21–25.
Ren Qi, et al. *Technical textiles*, 2012, 30(11):21–25.
- [31] 马若阳,等. 产业用纺织品, 2015, 33(1):38–43.
Ma Ruoyang, et al. *Technical textiles*, 2015, 33(1):38–43.
- [32] 周晓洁,等. 产业用纺织品, 2012, 30(11):21–25.
Zhou Xiaojie, et al. *Technical textiles*, 2012, 30(11):21–25.
- [33] 周晓洁,等. 非织造布, 2012(4):58–61.
Zhou Xiaojie, et al. *Nonwovens*, 2012(4):58–61.

- [34] 曲方圆. SMS非织造手术衣材料泡沫整理工艺研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
Qu Fangyuan. Research on foam finishing process of SMS non-woven surgical gown[D]. Shanghai: Donghua University, 2016.
- [35] Yoshida S, et al. Surface & Coatings Technology, 2013, 233:99-107.
- [36] 蒋佩林, 等. 东华大学学报: 自然科学版, 2019, 45(3):339-344.
Jiang Peilin, et al. Journal of Donghua University: Natural Sciences, 2019, 45(3):339-344.
- [37] 江奇佳, 等. 现代纺织技术, 2020, 28(5):13-20.
Jiang Qijia, et al. Advanced Textile Technology, 2020, 28(5):13-20.
- [38] 张恒, 等. 丝绸, 2019, 56(7):46-51.
Zhang Heng, et al. Silk, 2019, 56(7):46-51.
- [39] 王伟, 等. 东华大学学报: 自然科学版, 2016, 42(5):681-688.
Wang Wei, et al. Journal of Donghua University: Natural Sciences, 2016, 42(5):681-688.
- [40] 梁梦迪, 等. 合成纤维, 2020(3):34-38.
Liang Mengdi, et al. Fiber in China, 2020(3):34-38.
- [41] Wang Hongxia, et al. Advanced Materials Interfaces, 2015, 2(4). doi:10.1002/admi.201400506.
- [42] Ahmed Babar Aijaz, et al. Colloid and Interface Science, 2020. doi:10.1016/j.jcis.2020.05.062.
- [43] Miao Dongyang, et al. Small, 2018, 14(32). doi:10.1002/smll.201801527.
- [44] 罗洁. 时代农机, 2019, 46(12):84-85.
- [45] 黄浩. 超湿润聚苯硫醚油水分离超细纤维膜的制备与性能研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2019.
Huang Hao. Preparation and performance of ultra-wet polyphenylene sulfide oil-water separation ultrafine fiber membrane[D]. Wuhan: Wuhan Textile University, 2019.
- [46] 张贤, 等. 浙江理工大学学报: 自然科学版, 2020, 43(3):283-292.
Zhang Xian, et al. Journal of Zhejiang Sci-Tech University: Natural Sciences Edition, 2020, 43(3):283-292.
- [47] 附青山, 等. 四川轻化工大学学报: 自然科学版, 2020, 33(2):7-13.
Fu Qingshan, et al. Journal of Sichuan University of Science & Engineering: Natural Science Edition, 2020, 33(2):7-13.
- [48] Wang Zhe, et al. Separation and Purification Technology, 2020, 235. doi:10.1016/j.seppur.2019.116183.
- [49] 蒋佩林. PBT/壳聚糖单向导电非织造材料的制备及其在细胞过滤与释放中的应用[D]. 上海: 东华大学, 2018.
Jiang Peilin. Preparation of PBT/chitosan unidirectional water-conducting nonwoven material and its application in cell filtration and release[D]. Shanghai: Donghua University, 2018.
- [50] 崔景强, 等. 产业用纺织品, 2019, 37(8):22-27.
Cui Jingqiang, et al. Technical Textiles, 2019, 37(8):22-27.
- [51] Yang Jing, et al. Cellulose, 2019, 26(12):7507-7522.
- [52] Chen Shenqiu, et al. Science of The Total Environment, 2020, 729. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138876.
-
- (上接第128页)
- [6] Xin Wang, Hongyue Yuan, Yamin Pan, et al. Creep behavior and mechanical properties of isotactic polypropylene composites via twice melt injection molding[J]. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2019(2):102-109.
- [7] 赵梓年, 沈惠玲. PP与镁盐晶须复合材料性能的研究[J]. 现代塑料加工应用, 2005, 17(1):35-38.
Zhao Zinian, Shen Huiling. Study on properties of composites of pp and magnesium salt whisker[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2005, 17(1):35-38.
- [8] 周健, 蒋艳峰. 晶须镁盐/POE/聚丙烯共混体系力学性能的研究高光泽聚丙烯技术进展[J]. 塑料工业, 2005, 33(9):18-21.
Zhou Jian, Jiang Yanfeng. Study of mechanical properties of whisker magnesium salt/POE/PP blend system[J]. China Plastics Industry, 2005, 33(9):18-21.
- [9] 李伟, 李志鹏, 陈嘉杰, 等. 弹性体黏度对不同填充体系聚丙烯材料力学性能的影响[J]. 广州化工, 2020, 48(20):36-41, 109.
Li Wei, Li Zhipeng, Chen Jiajie, et al. Research on the effect of the elastomer viscosity on mechanical properties of polypropylene materials with different filling systems[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2020, 48(20):36-41, 109.
- [10] 俞飞, 陈嘉杰, 李振华, 等. 汽车内饰用聚丙烯复合材料的制备与性能[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(12):37-43.
Yu Fei, Chen Jiajie, Li Zhenhua, et al. Preparation and properties of polypropylene composites for automotive interiors[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(12):37-43.
- [11] 李伟, 何海龙, 吴国峰, 等. 增韧剂含量和黏度对聚丙烯复合材料光泽度的影响[J]. 塑料工业, 2018, 46(4):33-36.
Li Wei, He Hailong, Wu Guofeng, et al. Effect of the content and the melt viscosity of toughening agent on the gloss of PP composites[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(4):33-36.
- [12] 贺丽丽, 高翔, 盛超, 等. 低光泽度聚丙烯材料的研究[J]. 汽车工艺与材料, 2019(10):68-72.
He Lili, Gao Xiang, Sheng Chao, et al. Research in low gloss polypropylene material[J]. Automobile Technology & Material, 2019(10):68-72.
- [13] 李丽, 刘敏, 慕蕊娟, 等. 共聚聚丙烯结构对光泽度的影响[J]. 广州化工, 2015, 43(3):90-91.
Li Li, Liu Min, Mu Ruijuan, et al. Effect of the structure on gloss of copolymer polypropylene[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015, 43(3):90-91.
- [14] 安孝善, 李俊, 孙心克, 等. 聚丙烯复合材料低光泽度化的研究[J]. 塑料工业, 2020, 48(7):148-152.
An Xiaoshan, Li Jun, Sun Xinke, et al. Research in low gloss polypropylene composites[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(7):148-152.