

双组分聚乳酸纤维热风非织造布的制备及性能

李明¹ 才英杰² 赵 闵³

1. 河北宁纺集团有限责任公司, 河北 邢台 055550;
2. 河北科技大学, 河北 石家庄 050080;
3. 河北维嘉无纺布有限公司, 河北 石家庄 050500

摘要:为获得蓬松舒适的一次性卫生用品面层,以双组分皮芯结构聚乳酸(PLA)纤维为原料制备不同的热风非织造布,并与常规聚烯烃系(ES)纤维热风非织造布性能做对比,测试热风非织造布的拉伸性能、耐磨性能、透气透湿性能、液体穿透性能、抗菌性能及微生物降解性能。结果表明:相较于ES热风非织造布,PLA热风非织造布断裂强力、透气透湿性能略低,但仍满足一次性卫生用品标准要求;液体穿透性能及抗菌性能更好;延长加热时间、提高热风温度可提高PLA热风非织造布的耐磨性和锁液能力;微生物降解140 d后降解率可达92.11%;综合性能更优。

关键词:一次性卫生用品;面层;双组分;聚乳酸纤维;聚烯烃系纤维;热风非织造布;抗菌性能;微生物降解性能

中图分类号:TS 174.1

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2024)03-0012-07

Preparation and performance of bi-component polylactic acid fiber hot air nonwovens

Li Ming¹, Cai Yingjie², Zhao Min³

1. Hebei Ningfang Group Co., Ltd., Xingtai 055550, Hebei, China;
2. Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050080, Hebei, China;
3. Hebei Weijia Non-Woven Co., Ltd., Shijiazhuang 050500, Hebei, China

Abstract: To obtain fluffy and comfortable surface layer of disposable sanitary products, different hot-air nonwovens were prepared using bi-component polylactic acid (PLA) fibers as raw materials, and their performance was compared with that of conventional polyolefin (ES) hot-air nonwovens. The tensile properties, wear resistance, air and moisture permeability, liquid penetration, antibacterial properties and microbial degradation properties of the hot-air nonwovens were tested. The results showed that, compared with ES hot-air nonwovens, PLA hot-air nonwovens had slightly lower breaking strength, air and moisture permeability, but which still met the standard requirements of disposable sanitary products. Better liquid penetration and bacterial resistance. Prolonging heating time and increasing hot-air temperature could improve the wear resistance and moisture lock capacity of PLA hot-air nonwovens. The decomposition rate reached 92.11% after 140 d of microbial degradation. The overall performance was better.

收稿日期:2023-10-19

作者简介:李明,男,1997年生,硕士,主要从事纺织复合材料产品的开发工作,2334923108@qq.com

Keywords: disposable sanitary product; surface layer; bi-component; polylactic acid fiber; polyolefin fiber; hot-air nonwoven; antibacterial property; microbial degradation property

随着我国三孩政策的开放以及人口老龄化的加剧,婴儿纸尿裤、成人失禁用品等一次性卫生用品的需求量越来越大^[1]。新一代年轻父母对纸尿裤的接受程度较高,因此纸尿裤的应用变得更加广泛,同时人们对纸尿裤综合性能的要求也越来越高。例如,一次性卫生用品的面层直接与人体接触,它的各项性能会直接影响人体的舒适性。目前,一次性卫生用品面层主要为热风非织造布,这是因为热风非织造布的生产过程相对简便、卫生,且产品的柔软度、蓬松度和舒适度等都较高^[2]。

2023 年生活用纸展览会上,一次性卫生用品原材料出现了许多新趋势,天然纤维、可生物降解纤维和可持续性纤维等越来越受到人们的重视。例如:纯棉纤维、竹纤维和蚕丝等天然纤维被用于非织造布中^[3-4];可生物降解的聚乳酸(PLA)纤维、莱赛尔纤维和优可丝纤维等也被逐渐用于非织造产品中^[5];可持续性纤维主要源自天然提取物,它们可替代石油基原料,缓解石油的供应压力,实现资源的可持续发展。唐模秋等^[6]以蚕丝和竹纤维为原料,通过水刺工艺制成了透气性和吸湿性相对较好的面层材料。劳海晴等^[7]利用乌拉草提取液对纯棉非织造布进行染色,并通过优化染色温度、染色时间和浴比等参数改善了纯棉非织造布的染色牢度及吸水性能。张会青等^[8]以双组分皮芯结构聚烯烃系(ES)纤维为原料,运用热风复合双层工艺制备了上下层性能不同的 ES 热风非织造布,发现复合工艺可提高热风非织造布的整体液体穿透性能,使其具有更好的防护性和舒适性。汪洋等^[9]采用拒水整理剂整理面密度为 35 g/m² 的纯棉水刺非织造布,发现整理后的纯棉水刺非织造布芯吸能力较好,透气性较强,柔软度更佳,但力学性能略有下降。

传统热风非织造布原材料常采用聚酯(PET)、ES 等不可降解纤维,易导致废弃物难以回收处理,产生白色污染,破坏环境等问题。为解决上述问题,本文创新性地选用可降解双组分皮芯结构 PLA 纤维代替上述不可降解纤维制备热风非织造布,以期使产品既满足一次性卫生用品面层柔软、舒适、蓬松的要求,又达到保护环境的目的。

1 试验部分

1.1 试验材料及仪器

主要材料:双组分皮芯结构 PLA 纤维,线密度 0.16~0.22 tex、长度 30~38 mm、断裂强度 1~4 cN/dtex,皮层为 PDLLA 型聚乳酸(熔点为 120~130 ℃),芯层为 PLLA 型聚乳酸(熔点为 170~180 ℃),苏州金泉新材料有限公司。双组分皮芯结构 ES 纤维,线密度 0.16~0.22 tex、长度 30~38 mm、断裂强度 1~4 cN/dtex,常熟市力达化纤有限公司。抗菌 ES 热风非织造布,经抗菌剂 SCJ-891 浸轧整理,自制。棉纤维素,直径小于 20 μm,国药集团化学试剂有限公司。

主要仪器:TM3000 型扫描电子显微镜(日本日立公司),YG028-500 型织物强力仪(宁波纺织仪器厂),ZY-5312 MB 型马丁代尔耐磨仪(东莞卓亚仪器有限公司),YG46E 型数字式透气量仪(宁波纺织仪器厂),YG601-I/II 型电脑式织物透湿仪(宁波纺织仪器厂),液体穿透性测试仪(上海程斯智能科技有限公司),DH-400 型电热恒温培养箱(上海坤城科学仪器有限公司)。

1.2 试验方法

分别将 PLA 纤维、ES 纤维依次经过开包机、中转棉箱、气压棉箱、双锡林双道夫梳理机、热风烘箱及卷取机、分切机等设备加工,制备热风非织造布。其中,热风黏合工艺采用分区控温、压差递增的参数配置,即第一温控区设定温度为 142~145 ℃、风机频率为 30~35 Hz,第二温控区设定温度为 145~147 ℃、风机频率为 43~46 Hz。纤维网经热风烘箱加固后,由冷却辊 13~18 ℃ 冷却定型及烫平辊 5%~8% 牵伸定型,最后卷绕获得具有一定强力的热风非织造布。所得 3 种热风非织造布试样的基本信息如表 1 所示,其中为满足消费者差异化的需求,本文通过调整热风温度与加热时间,分别得到了强力与手感不同的 PLA1 和 PLA2 热风非织造布。

1.3 测试方法

1.3.1 表面形态

采用 TM3000 型扫描电子显微镜观察试样的表

表 1 试样的基本信息

Tab. 1 Basic informations of samples

热风非织造布	面密度/(g·m ⁻²)		厚度/ mm	备注
	设计值	实际值		
PLA1	20~22	22	0.23	手感较硬
PLA2	20~22	20	0.44	手感较软
ES	20~22	20	0.36	手感较软

面形态。采用 Image-J 软件随机选取 100 根纤维进行直径的测量,并对纤维直径分布进行统计和分析。

1.3.2 拉伸性能

参照 GB/T 24218.3—2010《纺织品 非织造布试验方法 第 3 部分:断裂强力和断裂伸长率的测定(条样法)》测试试样纵横向的断裂强力。

1.3.3 耐磨性能

参照 GB/T 21196.4—2007《纺织品 马丁代尔法织物耐磨性的测定 第 4 部分:外观变化的评定》测试试样的耐磨性及起毛起球性。

1.3.4 透气性能

参照 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》测试试样的透气率。其中,12 号喷嘴透气率测试范围为 1 711~4 227 mm/s,16 号喷嘴透气率测试范围为 3 034~7 491 mm/s。

1.3.5 透湿性能

参照 GB/T 12704.2—2009《纺织品 织物透湿性试验方法 第 2 部分:蒸发法》测试试样的透湿率。

1.3.6 液体穿透性能

参照 GB/T 24218.13—2010《纺织品 非织造布试验方法 第 13 部分:液体多次穿透时间的测定》测试液体多次穿透试样的时间。参照 GB/T 24218.14—2010《纺织品 非织造布试验方法 第 14 部分:包覆材料返湿量的测定》测试试样的返湿量。

1.3.7 抗菌性能

先利用紫外线对试样消毒杀菌 24 h,再将试样接种后置于工厂内同一环境中,分别用细菌培养箱和真菌培养箱进行琼脂培养,最后观察细菌和真菌的生长情况。

1.3.8 微生物降解性能

参照 ISO 14855 - 1:2012 *Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions - Method by analysis of evolved carbon dioxide - Part 1: General*

method(《可控堆肥条件下塑料最终需氧生物降解能力的测定》)测试试样的微生物降解性能。

2 结果与讨论

2.1 表面形貌

图 1 反映了热风非织造布试样表面形貌及纤维直径分布,其中由于 PLA1 和 PLA2 热风非织造布所用原料相同,因此选择 PLA1 热风非织造布为代表。由图 1 可以看出:PLA 和 ES 热风非织造布试样中纤维排列杂乱且相互纠缠,都没有呈现出一定的规律;PLA 纤维的平均直径为 16.69 μm,与 ES 纤维的相近;PLA 纤维的直径不匀率为 13.48%,较 ES 纤维的低;PLA 纤维经高温热风处理后,熔点较低的皮层 PDLA 先熔融并与周围纤维相互黏结,熔点较高的芯层 PLLA 则起着支撑作用;与 ES 纤维相比,PLA 纤维的卷曲度低,表面更加光滑。

2.2 力学性能

图 2 为 3 种试样断裂强力测试结果。由图 2 可知,3 种热风非织造布的纵向断裂强力都高于横向断裂强力,这与纤网由双锡林双道夫梳理机纵向平行梳理而成有关,其纵向纤维排列较为均匀,横向排列较为杂乱。PLA1 热风非织造布的纵横向断裂强力都高于 PLA2 热风非织造布,这与前者在热风烘箱中加热时间较长、热风温度较高,导致 PLA1 热风非织造布中纤维黏合相对更充分、更紧密有关。

图 2 中,尽管 PLA1 和 PLA2 热风非织造布的断裂强力都低于 ES 热风非织造布,但它们都满足 FZ/T 64005—2021《卫生用薄型非织造布》中纵向断裂强力不小于 17.0 N、横向断裂强力不小于 3.0 N 的要求。对于要求柔软、蓬松及干爽的面层材料而言,主要强调的性能不是断裂强力,而是保证一定的抗撕裂及抗拉伸性能。分析 PLA1 和 PLA2 热风非织造布断裂强力低于 ES 热风非织造布的原因发现,PLA 纤维卷曲较少,纤维间抱合力较小,加之纤维本身强力偏低,故纤网的断裂强力低。此外,热风温度偏低,纤维间黏合点少,加之生产速度较快,纤维黏合效果差,故纤网断裂强力偏低^[10]。

2.3 耐磨性能

耐磨性能是衡量材料抵抗外力磨损的指标。面层耐磨性能的好坏对一次性卫生用品舒适性的影

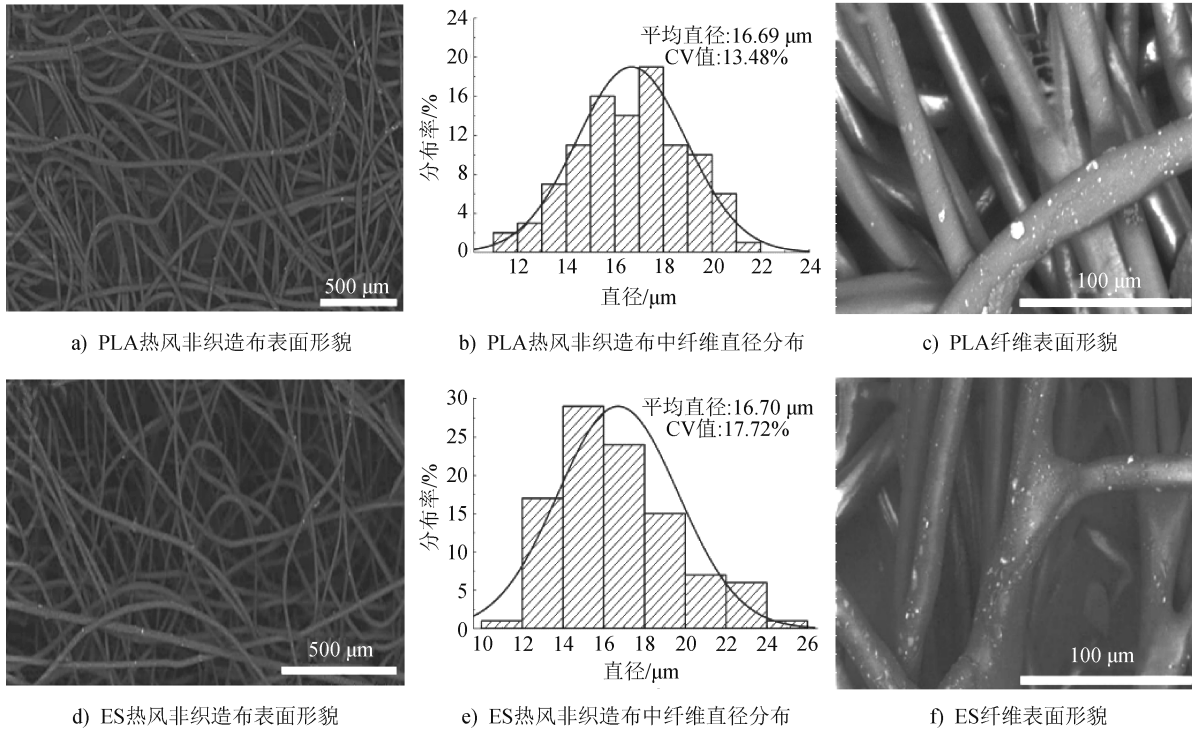


图 1 试样表面形貌及纤维直径分布

Fig. 1 Surface morphology and fiber diameter distribution of samples

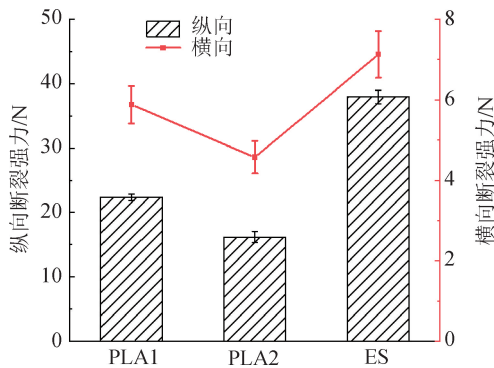


图 2 试样断裂强力

Fig. 2 Tensile forces at breakage of samples

响很大。热风非织造布总体抵抗摩擦的能力都不高,因其内部纤维在摩擦过程中极易被抽出并纠缠形成小球,故实际操作中,利用质量损失率来衡量热风非织造布的耐磨性能难度很大,常根据一定摩擦次数下的外观形态变化判定热风非织造布的耐磨性能。图 3 为 3 种试样耐磨性能测试结果。

由图 3 可知,3 种试样的耐磨性能依次为 PLA1 热风非织造布>ES 热风非织造布>PLA2 热风非织造布。PLA1 热风非织造布在摩擦 160 次时也未出现破洞,耐磨性能最好,原因主要是其内部纤维间

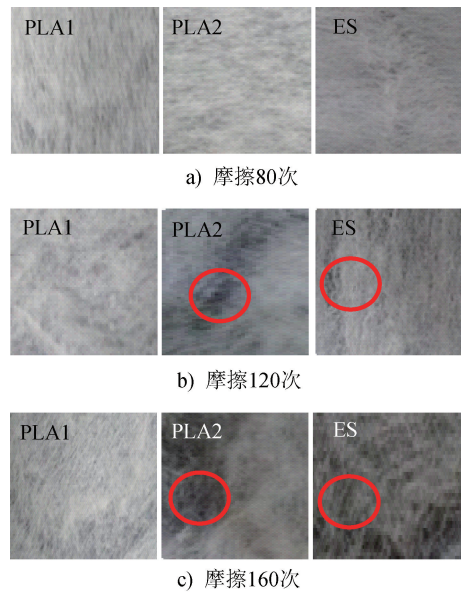


图 3 试样耐磨性能

Fig. 3 Abrasion resistance of samples

缠、抱合较为紧密,纤维不易被抽出。PLA2 与 ES 热风非织造布均在摩擦 120 次左右出现了破洞,这与它们手感偏软,厚度偏大,内部缝隙、孔洞较多,纤维间抱合不紧密而极易抽出有关。

图 4、图 5 分别为 3 种试样摩擦前后表面毛羽

状态。摩擦前,热风非织造布表面纤维紧密,毛羽很少;摩擦 40 次后,热风非织造布表面毛羽相互纠缠、穿插且杂乱无章,其中 PLA1 热风非织造布起毛程度相对较轻,毛羽较为贴服,这与 PLA1 热风非织造布中纤维抱合程度较高,纤维在摩擦作用下不易被抽出有关。

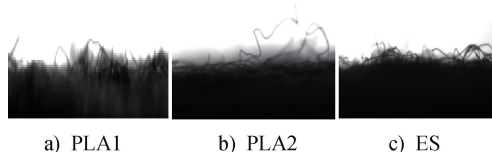


图 4 摩擦前试样表面毛羽状态

Fig. 4 Hairiness state of samples before pilling

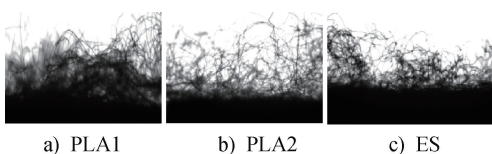


图 5 摩擦 40 次后试样表面毛羽状态

Fig. 5 Hairiness state of samples after pilling 40 times

目前,消费者对一次性卫生用品面层的起毛起球性能较为关注,因为面层毛羽易引发皮肤刺痒感,所以改善面层在摩擦过程中的起毛起球性对提高一次性卫生用品的舒适性很重要。

2.4 透气透湿性能

透气透湿性能是衡量织物热湿舒适性的指标。透气率和透湿率越大,则人体与面层接触时感觉越舒适。图 6 为 3 种试样的透气透湿性能测试结果。由图 6 可知,3 种试样中 ES 热风非织造布的透气率和透湿率皆为最大,这是因为 ES 纤维经过了亲水整理,故透湿率高于未经亲水处理的 PLA 纤维;PLA1 热风非织造布的透湿率和透气率都小于 PLA2 热风非织造布,这与 PLA1 热风非织造布手感偏硬、厚度较小有关。

2.5 液体穿透性能

图 7 为 3 种试样的穿透时间及返湿量测试结果,其中 t_1 、 t_2 、 t_3 分别为第 1 次、第 2 次、第 3 次液体穿透时间。液体穿透时间越小,说明液体通过材料越快速,材料传导液体分子的能力越强。图 7 中,PLA1、PLA2、ES 热风非织造布的第 1 次液体穿透时间均满足 FZ/T 64005—2021《卫生用薄型非织造布》中规定的液体穿透时间不大于 3.5 s 的要求,且

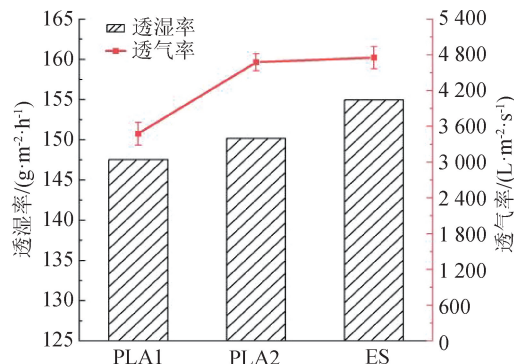


图 6 试样透气透湿性能

Fig. 6 Air and moisture permeability performance of samples

PLA1 和 PLA2 热风非织造布各自的 3 次液体穿透总时间小于 ES 热风非织造布,说明 PLA 热风非织造布具有更好的液体穿透性能,其作为面层可保持较好的干爽舒适性。此外,观察图 7 还可发现,3 种试样的液体穿透时间皆为 $t_3 > t_2 > t_1$,这与第 1 次液体穿透后纤维间存留大量水分,阻碍了后续水分的进一步下渗,导致后续液体穿透时间逐渐延长有关。

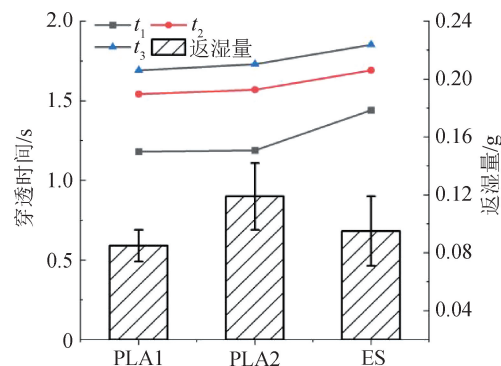


图 7 试样穿透时间及返湿量

Fig. 7 Penetration time and wetback amount of samples

返湿量是衡量液体通过材料后,在一定外力的作用下再次返回材料表面的能力。返湿量越小,说明材料锁液能力越好。图 7 中,PLA1 热风非织造布的返湿量最小,为 0.086 g,这与试样面密度较大,单位面积内纤维数量较多,传导液体分子的能力增强有关。

2.6 抗菌性能及微生物降解性能

抗菌性能测试结果如表 2 及图 8、图 9 所示,其中,PLA1 与 PLA2 热风非织造布所用原料均相同,故选择 PLA1 热风非织造布作为代表,抗菌 ES 热风非织造布作为对照样。可以看出:整体上,抗菌 ES 热风非织造布的抗菌效果明显优于 PLA 与 ES 热风非织造布,故可初步推断未经抗菌整理的 PLA 和

ES 热风非织造布的抗细菌和抗真菌效果不够理想。进一步观察发现:抗细菌性能方面,PLA 热风非织造布略优于 ES 热风非织造布,这与 PLA 纤维表面含有微量乳酸有关。因为乳酸具有抑菌效果,能杀灭大肠埃希菌与金黄色葡萄球菌,提高一次性卫生用品使用的安全性。但抗真菌性能方面,PLA 热风非织造布劣于 ES 热风非织造布。

表 2 试样的抗菌性能

Tab. 2 Antimicrobial performance of samples

热风非织造布	细菌菌落数/CFU	真菌菌落数/CFU
PLA	408	424
ES	540	408
抗菌 ES	20	20



图 8 试样及对照样的抗细菌效果

Fig. 8 Antibacterial effect of samples and the control

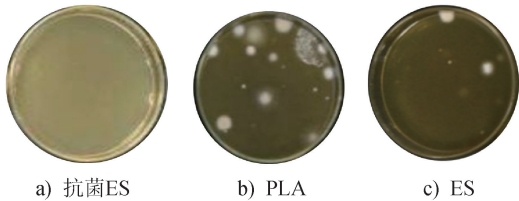


图 9 试样及对照样的抗真菌效果

Fig. 9 Antifungal effect of samples and the control

由于 ES 热风非织造布本身不具备降解性能,因此本文只研究 PLA 热风非织造布的降解性能。同时,由于 PLA1 与 PLA2 热风非织造布所用原料相同,故此处仍以 PLA1 热风非织造布为代表研究 PLA 热风非织造布的微生物降解性能,并与棉纤维素对照样进行比较,结果见表 3。

由表 3 可知,PLA 热风非织造布的微生物降解率在 45 d 时达到 64.39%,在 140 d 时微生物降解率达到 92.11%,表明 PLA 热风非织造布具有很好的微生物降解性能,这符合本文使用 PLA 纤维替代常用不可降解的 ES 纤维用于制备可降解热风非织造布的初衷。

2.7 基于模糊综合评价法的结果与分析

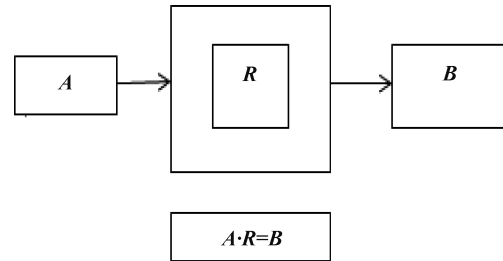
对于一次性卫生用品而言,面层的柔软蓬松性、

表 3 PLA 热风非织造布的微生物降解性能

Tab. 3 Microbial degradability of PLA hot air nonwovens

样品	PLA 降解率/%		对照样降解率/%	
	45 d	140 d	45 d	98 d
1	64.31	92.85	82.68	96.66
2	63.22	91.47	82.36	96.71
3	65.64	92.00	82.98	98.26
均值	64.39	92.11	82.67	97.21

拉伸性能、透气透湿性、耐磨性、起毛起球性、液体穿透性及抗菌性等都很重要,因此综合分析和比较产品性能较为困难。本文采用模糊综合评价法(图 10),即将各种不同的性能指标量纲化,使各指标具有可比性,再赋予每个指标不同权重,最后通过向量计算得出综合评价结果^[11],分析和评价热风非织造布的综合性能。



A—模糊权向量集;R—模糊关系矩阵;B—模糊综合评价结果

图 10 模糊综合评价过程

Fig. 10 Fuzzy comprehensive evaluation process

2.7.1 模糊关系矩阵 R 的建立

纺织行业中,模糊关系矩阵 R 的建立通常有 3 种方法,即直接评定法、隶属函数转换算法及测试值规范、标准化法^[12]。本文采用隶属函数转换算法将指标数据汇总为矩阵 U,其从左到右分别为 PLA1、PLA2 及 ES 热风非织造布的性能指标,从上到下依次为返湿量、透湿率、3 次液体穿透总时间、透气率及细菌菌落数等指标:

$$U = [u_{ij}]_{5 \times 3} = \begin{bmatrix} 0.086 & 0.119 & 0.095 \\ 147.53 & 150.18 & 154.95 \\ 4.417 & 4.490 & 4.991 \\ 3\,478.22 & 4\,679.24 & 4\,755.17 \\ 408 & 408 & 540 \end{bmatrix}$$

由于各指标单位不同,故通过式(1)对数据进行归一化处理:

$$r_{ij} = \left| \frac{u_i - u^*}{u_{i,\max} - u_{i,\min}} \right| \quad (1)$$

式(1)中: u_i 为矩阵 U 中的各项指标数据; $u_{i,\max}$ 为矩阵 U 中各项指标的最大值; $u_{i,\min}$ 为矩阵 U 中各项指标的最小值; u^* 为各项指标的要求值,本文依据 FZ/T 64005—2021 和 GB/T 30133—2013 对各项指标的要求值进行假设赋值,确定返湿量为 0.05 g、透湿率为 530 g/(m²·h)、3 次液体穿透总时间为 4 s、透气率为 3 000 L/(m²·s)、细菌菌落数为 200 CFU。

最后得到无量纲化的模糊关系矩阵 $R^{[13]}$:

$$R = [r_{ij}]_{5 \times 3} = \begin{bmatrix} 1.09 & 2.09 & 1.36 \\ 51.55 & 51.58 & 50.54 \\ 0.73 & 0.85 & 1.73 \\ 0.37 & 1.32 & 1.37 \\ 1.58 & 1.58 & 2.57 \end{bmatrix}$$

2.7.2 模糊权向量集 A 的建立

目前,模糊综合评价法对权系数没有统一的规定。常用的权系数确定方法有直接经验法、权重逼近法及分类中心值法等。由于面层各项指标的评定存在许多不确定性,若采用权重逼近法或分类中心值法确定权系数,则计算结果有可能与实际情况不相符。因此,为避免这种情况,本文采用直接经验法,即由纺织专业老师对返湿量、透湿率、3 次液体穿透总时间、透气率及细菌菌落数进行权重分配,得到模糊权向量集 $A=(0.25, 0.15, 0.25, 0.10, 0.25)$ 。

2.7.3 模糊综合评价结果 B 的计算

由向量公式 $B=A \times R$ 可得 $B=(8.62, 9.00, 9.13)$, B 中数值大的热风非织造布综合性能相对较好。由 B 可知,基于 PLA 热风非织造布的模糊综合评价结果与 ES 热风非织造布的相差不大,综合性能相近。但由于本文的模糊综合评价法未考虑微生物降解性能因素,故基于 PLA 热风非织造布具有的绿色环保优势,认为 PLA 热风非织造布的综合性能优于 ES 热风非织造布。

3 结论

本文以可降解的双组分皮芯结构的 PLA 纤维(平均直径为 16.69 μm 、直径不匀率为 13.48%)为原料制备 PLA 热风非织造布,得出:

(1) PLA 热风非织造布的纵横向断裂强力虽均低于 ES 热风非织造布,但都满足一次性卫生用品标准要求。

(2) 延长加热时间、提高热风温度,所得 PLA 热

风非织造布的耐磨性能优于 ES 热风非织造布。

(3) PLA 热风非织造布的透气透湿性能略低于 ES 热风非织造布。

(4) PLA 热风非织造布的 3 次液体穿透总时间小于 ES 热风非织造布,说明 PLA 热风非织造布具有更好的液体穿透性。延长加热时间、提高热风温度,所得 PLA 热风非织造布具有更好的锁液能力。

(5) PLA 热风非织造布抗细菌性能优于 ES 热风非织造布,微生物降解 140 d 后降解率为 92.11%。

(6) 模糊综合评价法分析得到,PLA 热风非织造布综合性能与 ES 热风非织造布相近,符合一次性卫生用品标准,且 PLA 热风非织造布具有良好的微生物降解性能,故其将拥有更广阔的发展前景。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

- [1] 王家泳. 内部细纤维化及表面羟基变化与绒毛浆性能相关性研究[D]. 西安:陕西科技大学,2016.
- [2] 2022 年一次性卫生用品行业的概况和展望[J]. 生活用纸,2023,23(10):15-23.
- [3] BALLESTEROS I, DUQUE A, NEGRO M J, et al. Valorisation of cellulosic rejections from wastewater treatment plants through sugar production[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 312: 114931.
- [4] 陈晶晶,吴海波. 蚕丝/ES 非织造布的亲水整理[J]. 东华大学学报(自然科学版),2015,41(5):615-619.
- [5] 梁荷叶,陈致帆. 可降解聚乳酸熔喷非织造材料的制备与研究[J]. 产业用纺织品,2022,40(5):23-28.
- [6] 唐模秋,贾耀芳,杨晓伟,等. 蚕丝/竹纤维卫生用品面层的制备及性能研究[J]. 产业用纺织品,2017,35(9):8-11.
- [7] 劳海晴,蔡学军,谢仁亮,等. 乌拉草提取液上染纯棉非织造布的制备工艺研究[J]. 产业用纺织品,2022,40(7):46-51.
- [8] 张会青,张梅,姬厚强,等. 热风复合非织造医卫材料的开发及其性能[J]. 上海纺织科技,2020,48(11):1-4.
- [9] 汪洋,徐文青,李建强. 纯棉水刺非织造布拒水整理及其性能研究[J]. 产业用纺织品,2020,38(9):13-18.

(下转第 32 页)