

## 聚乳酸纺粘非织造布的研究进展

常杰, 刘亚, 程博闻  
(天津工业大学 纺织学部, 天津 300387)

**摘要:** 从制备方法、产品的性能特点、影响因素及应用领域几个方面系统阐述了聚乳酸纺粘非织造布的研究进展, 重点对其不同加固方式, 包括热轧加固、针刺加固和水刺加固的工艺和产品性能做了对比分析, 并提出未来聚乳酸纺粘非织造产品的发展趋势和应用前景。

**关键词:** 非织造布; 纺粘; 热轧; 针刺; 水刺; 聚乳酸

**中图分类号:** TS 102.512; TS 176.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-024X(2013)04-0037-06

### Research progress of polylactic acid spunbonded nonwovens

CHANG Jie, LIU Ya, CHENG Bo-wen

(School of Textiles, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

**Abstract:** The research progress of PLA spunbonded nonwovens is systematically expounded from the preparation methods, product performance characteristics, factors and applications. And the preparation and performance of PLA spunbonded nonwoven with different strengthening method are also compared, including thermal bonding, needle punching and hydroentangling. The development trend and application prospect of PLA spun-bonded nonwovens are put forward.

**Key words:** nonwovens; spunbond; thermal bonding; needle punching; spunlace; PLA

聚乳酸 (polylactic acid, 简称 PLA), 是以玉米、小麦、木薯等一些植物中的淀粉为原料用细菌发酵或化学合成方法而得到的一种新型绿色环保高分子材料<sup>[1]</sup>, 原料来源充足且可再生, 生产过程无污染, 产品可生物降解<sup>[2]</sup>。随着这类新材料的不断开发以及技术的不断进步, 其在非织造布中的应用也日渐增多。目前 PLA 短纤维非织造布已广泛应用于医疗卫生、环境工程以及生活用品等领域<sup>[3]</sup>, 而聚乳酸纺粘非织造布是一种新型的长丝非织造布, 加工工艺流程短、产品性能好<sup>[4]</sup>。目前我国相关的研究报道较少, 且缺乏系统性。本文主要从聚乳酸纺粘非织造布的制备方法、产品的性能、影响因素以及应用领域几个方面对其进行了详细介绍, 并对不同加固工艺 (热轧、针刺、水刺) 对产品性能的影响进行了阐述和对比分析, 以期对未来 PLA 纺粘非织造布的相关生产提供一定的指导。

### 1 制备方法

聚乳酸纺粘非织造布作为一种新型的长丝非织造布, 是以聚乳酸切片为原料, 首先将切片经干燥后送入螺杆挤压机, 经挤压熔融、熔体过滤器过滤后进入熔体管道、纺丝箱体; 在纺丝箱体内, 熔体经计量泵定量送入纺丝组件中进行纺丝; 熔体由喷丝板孔呈细流喷出, 细流经一定温度的侧吹风冷却, 通过管式牵伸器完成高速牵伸后, 在摆片的左右摆动和成网帘前进的双重作用下, 纤维以 S 形轨迹均匀地铺置在成网机上形成纤网, 最后用热轧、针刺或水刺等方法对纤网进行加固而成<sup>[5-8]</sup>。也可以通过一步法直接制成, 即以玉米、小麦、木薯等一些植物中的淀粉为原料, 在酸、酶的水解作用下制成葡萄糖, 然后发酵制备成乳酸, 乳酸进一步聚合成乳酸预聚体, 乳酸预聚体在一定的

收稿日期: 2013-04-01 基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BAE10B01)

第一作者: 常杰 (1989—), 女, 硕士研究生。

通信作者: 程博闻 (1963—), 男, 教授, 博士生导师。E-mail: bowen@tjpu.edu.cn。

反应条件下制备成聚乳酸纺丝熔体, 然后经过纺丝、牵伸铺网、热轧或针刺或水刺等方法固结成布<sup>[9-11]</sup>。聚乳酸纺粘法非织造布的制备工艺流程如图 1 所示。

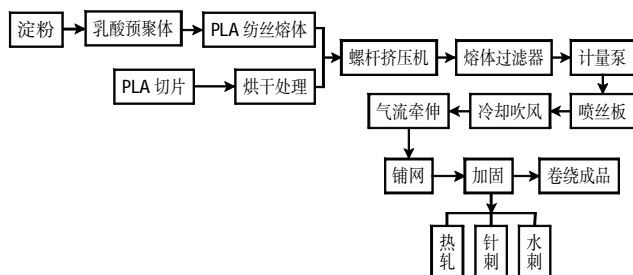


图 1 制备工艺流程

Fig.1 Flow chart of preparation process

根据不同的加固工艺, 聚乳酸纺粘非织造布的制备工艺又可以分为纺粘-热轧法、纺粘-针刺法和纺粘-水刺法 3 种。

### 1.1 纺粘-热轧法

聚乳酸纺粘热轧非织造布的制备工艺是将原料通过螺杆挤压机, 然后经熔融纺丝、空气冷却、牵伸铺网, 最后进行热轧粘合。纤网的热粘合设备由一对有导热油循环加热系统的辊筒组成, 当纤网接近辊筒时, 受辊筒的热幅射作用首先预热, 然后纤网进入热轧粘合区域, 与上下辊筒接触而受热升温, 同时纤维网中的空气也迅速受热, 帮助热量扩散, 热量从轧辊表面传向纤维表面, 并逐渐传递到纤网的内层<sup>[12-13]</sup>。

目前聚乳酸纺粘非织造布的加固工艺大部分采用的都是热轧固结。美国田纳西州(Tennessee)大学早在 1993 年就开展了对聚乳酸纺粘非织造布的研究, 其加固工艺为热轧加固<sup>[14]</sup>。法国的 BBA 公司研发了以 100% 聚乳酸开发的纺粘名牌非织造布 Deposa, 并注册了 Deposa™ 商标<sup>[15]</sup>。日本东丽公司对聚乳酸纺粘非织造布已进行商业化生产; 龙尼吉卡公司使用 CDP 公司的 PLA 聚合物纺制长丝并开发了商品名为 Terramc 的纺粘非织造布; 幸和公司也生产出商品名为 Haibon 的纺粘非织造布; Kanebo Gosen 公司与 Kureha 化学公司开发出一种三维的聚乳酸纺粘块料<sup>[16]</sup>等。欧美、法国、日本等许多国家都对聚乳酸纺粘非织造布进行了大量的研究, 加固工艺大多都采用了热轧加固。

在我国, 最早开展聚乳酸纺粘技术研究的是上海市合成纤维研究所, 承担了国家科技部的支撑计划项目“聚乳酸纺粘法非织造布装备与工艺技术研发”, 在对原有双组分复合纺粘法生产线进行部分改造后, 形成了一条 3.2 m、年产 1 000 t 的生产线, 加固工艺为热轧加固<sup>[17]</sup>。2005 年, 河南飘安高科股份有限公司对聚

乳酸医用纺粘非织造材料及其生产工艺进行了研究, 并申请了专利, 其加固工艺也采用了热轧加固<sup>[18]</sup>。温州昌隆纺织科技有限公司也生产出聚乳酸纺粘热轧非织造布并推出相关产品。研究聚乳酸纺粘非织造布的高校有江南大学、东华大学、天津工业大学等, 其中江南大学常过<sup>[19]</sup>于 2012 年利用烟台华大科技有限公司的 HDF-6C 纺粘非织造试验机在纺丝温度为 180 °C 的条件下研究了聚乳酸纺粘热轧非织造布的制备工艺及牵伸工艺、铺网速度、计量泵转速等参数对产品的机械性能和过滤性能的影响。

### 1.2 纺粘-针刺法

聚乳酸纺粘非织造布大多采用热轧法使长丝相互粘结成布, 但热轧固结仅适用于 10~150 g/m<sup>2</sup> 之间的薄型布, 对于 150 g/m<sup>2</sup> 以上的厚型纤网就必须使用针刺的方法进行固结<sup>[20]</sup>。纺粘和针刺的结合是将纺粘法制备的纤网均匀稳定地通过预针刺机得到初步缠结, 再进入主针刺机完成最后的针刺固结<sup>[21]</sup>。

2002 年, 日本大阪府立纺织技术研究院 Sugai 等<sup>[22]</sup>研制了一种新型的锥形刺针, 用这种新型刺针制备聚乳酸纺粘针刺非织造布, 并和采用常规刺针制备的产品相比, 结果发现, 用这种新型的刺针固结纤网虽然使聚乳酸纺粘非织造布的拉伸强度降低, 但产品的手感却得到很大的改善。2007 年, 江西国桥化纤有限公司以聚乳酸切片为原料, 采用国际先进的高速气流拉伸直接成布技术研制了聚乳酸纺粘针刺非织造布<sup>[23]</sup>。

### 1.3 纺粘-水刺法

纺粘和水刺两大领先工艺的结合是国际上较先进的非织造布生产技术。其制备工艺是将纺粘法纺出的纤网经预加湿后进入水刺区, 在高压水流的作用下纤维开纤并缠结在一起, 最后将湿纤网烘干, 形成纺粘水刺非织造布<sup>[24]</sup>。其产品兼具纺粘非织造布与水刺非织造布的优点:

(1) 纺粘法属于长丝非织造布, 产品强力高、抗撕裂性能和尺寸稳定性好, 可以弥补聚乳酸短纤维非织造布强度较低、易起毛的缺点;

(2) 水刺加固是一种独特的生产工艺, 在生产过程中, 不使用粘合剂或化学添加剂(特殊功能除外), 依靠高压水经过水刺头中的喷水板, 形成微细的高压水针射流对托网帘或转鼓上运动的纤网进行连续喷射, 在水针直接冲击力和反射水流的双重作用下, 纤网中的长丝发生位移、穿插、相互缠结结合, 从而使纤网得到加固, 产品具有同传统纺织品一样柔软的手感、不起球和漂亮的外观, 可以克服纺粘热轧非织造布手感较硬的缺陷;

(3) 由于水刺缠结是一种柔性加固的方法,和针刺加固工艺相比长丝受损几率低,可以充分发挥聚乳酸长丝非织造布强度高的性能优势<sup>[25]</sup>。

目前,只有德国萨克森纺织研究所<sup>[26-29]</sup>对聚乳酸纺粘水刺非织造布进行了相关报道,他们从2000年开始研究聚乳酸纺粘非织造布的制备工艺,并对不同加固方法所得纺粘非织造布的性能进行对比分析,结果表明:水刺加固和热轧加固及针刺加固的纺粘非织造布相比,强力明显增加,伸长也大大增加,而且产品的手感柔软,当最大水压增加到15~20 MPa时,非织造布达到优良的力学性能,并且水刺加固的产品收缩率最低,但工艺的可靠性尚需更多的技术支持。

## 2 性能及其影响因素

### 2.1 性能

聚乳酸纺粘非织造的性能主要取决于聚乳酸长丝的性能以及铺网工艺和加固工艺。聚乳酸纤维的强度较天然纤维高,较聚酯纤维略有偏低,但和聚酯纤维相比,它亲水性好、手感柔软、抗紫外线能力强、有良好的生物相容性和生物降解性。因此,聚乳酸纺粘非织造布具有较好的力学性能和良好的生物降解性能。

#### 2.1.1 力学性能

早在1995年,美国田纳西州大学的研究人员<sup>[30]</sup>就开始对聚乳酸纺粘非织造布的力学性能进行了研究,发现聚乳酸纺粘非织造布的断裂强度和断裂伸长与聚丙烯纺粘布相比偏低,产品的脆性大,但悬垂性和手感较好。2004年,德国开姆尼茨工业大学Blechschiidt等<sup>[31]</sup>分别对聚酯酰胺(PEA)、脂肪族一芳香族共聚酯(PTAT)和聚乳酸(PLA)3种可降解的纺粘非织造布的制备和产品的性能进行了研究,结果表明,聚乳酸较前两种聚合物纺丝的稳定性、产品的弹性和柔软性还有待提高。2005年,美国NatureWorks LLC公司Jim Lunt<sup>[32]</sup>研究了PLA纺粘产品的性能和应用领域,指出PLA产品存在收缩率高的问题。2012年,日本龙尼吉卡非织造技术部门Matsunaga等<sup>[33]</sup>开发了PLA/聚丁二酸丁二醇酯(PBS)双组份皮芯结构的纺粘非织造布,在一定程度上提高了聚乳酸纺粘非织造布的韧性。

表1所示为日本幸和公司生产的聚乳酸纺粘热轧非织造布“Haibon”的性能<sup>[34]</sup>。表2所示为江西国桥化纤有限公司制备的聚乳酸纺粘针刺非织造布的物理性能<sup>[24]</sup>。可以得出,相同克重的PLA纺粘热轧非织造布和针刺非织造布相比,厚度较薄,拉伸强度较大,但断裂伸长较小。

表1 日本聚乳酸纺粘非织造布“Haibon”的性能

Tab.1 Performance of Japanese PLA spunbonded nonwoven “Haibon”

项目 名称	克重/ (g·m <sup>-2</sup> )	厚度/ mm	拉伸强度/(N·(5 cm) <sup>-1</sup> )		断裂伸长/%		断裂强度/N	
			纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向
6320-1B	20	0.18	29.4	17.6	15.0	15.0	3.9	3.9
6330-1B	30	0.20	58.8	34.3	25.0	22.0	5.9	4.9
6350-1B	50	0.30	107.8	78.4	30.0	30.0	7.8	7.8
6370-1B	70	0.40	117.6	78.4	30.0	30.0	12.7	12.7
6300-1B	100	0.50	127.4	78.4	35.0	35.0	18.6	18.6
6302-1B	120	0.55	147.0	98	40.0	40.0	24.5	24.5

表2 聚乳酸纺粘针刺非织造布的物理性能

Tab.2 Performance of PLA spunbond needle-punched nonwoven

克重/ (g·m <sup>-2</sup> )	厚度/ mm	拉伸强度/(N·(5 cm) <sup>-1</sup> )		断裂伸长/%		撕裂强度/N		顶破强 度/N
		纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	
61	0.98	86	60	46	70	65	60	201
72	1.17	91	71	48	70	75	65	251
98	1.43	122	103	50	70	86	80	284
124	1.82	146	120	55	71	102	98	358
156	2.14	175	151	54	71	124	120	450

#### 2.1.2 降解性能

生物降解性是聚乳酸及其制品的一个突出特点。降解过程主要包括水化、水解和溶于介质3个阶段:在第1阶段,聚乳酸的化学结构不发生变化,只是大分子链松弛,玻璃化转变温度降低;第2阶段开始发生酯的水解,链发生断裂;第3阶段,降解产物溶于降解介质,聚合物体系的重量减少,体系丧失空间完整性,最后彻底分解为水和二氧化碳,对环境不造成污染,并且其分解产生的二氧化碳又通过植物的光合作用被重新合成淀粉等生产聚乳酸的原料。降解方法有堆肥降解、土地埋入降解、活性污泥中降解、海水浸渍降解等<sup>[35]</sup>。降解速度主要受温度、湿度、酸碱度、有无氧条件等因素的影响。2011年,美国金佰利公司Topolka-raev等<sup>[36]</sup>研究了聚乳酸纺粘非织造布的降解性能,得出聚乳酸纺粘非织造布在无氧的条件下降解的速度和降解温度有很大的关系,主要受聚乳酸玻璃化转变温度的影响。在温度高于60℃时,聚乳酸纤维在不到两个星期就降解<sup>[37]</sup>。图2为聚乳酸纺粘非织造布降解前和在土里降解一个月后的电镜图片<sup>[38]</sup>,从图中可以明显看出聚乳酸纺粘非织造布的结构已不太完整,部分已经破坏。

### 2.2 影响因素

纺粘法制备聚乳酸非织造布的影响因素主要包括以下几个方面。

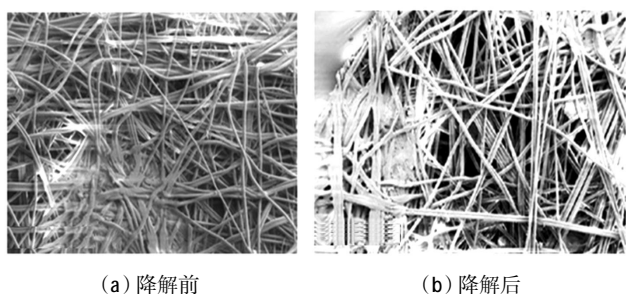


图 2 PLA 纺粘非织造布降解前后的 SEM 对比图  
(放大倍数为 100)

Fig.2 SEM of PLA spunbonded nonwoven before and after degradation (magnification 100)

### 2.2.1 纺丝工艺

纺丝工艺直接影响到聚乳酸长丝的结构和性能。

纺丝温度是纺丝工艺中一个重要的参数,其它工艺条件相同的情况下,纺丝温度较低时,聚乳酸长丝难于牵伸,长丝的纤度较大,分子取向度较低,表现在非织造布上为断裂强力较低,断裂伸长较大,手感较硬;纺丝温度较高时,聚乳酸长丝牵伸较好,长丝的纤度较小,分子取向度较高,表现在非织造布上为断裂强力较高,断裂伸长较小,手感柔软,但温度太高会加剧聚乳酸熔体的降解。在生产过程中纺丝温度应高于熔点温度而低于分解温度。2011年,太原理工大学吴改红等<sup>[9]</sup>研究了纺丝温度对聚乳酸长丝性能的影响,得出纺丝温度为 195℃时,聚乳酸长丝的各项力学指标都较优。上海市合成纤维研究所指出聚乳酸纺粘非织造布的纺丝温度应控制在 180~230℃之间<sup>[17]</sup>。

纺丝工艺中熔体压力、计量泵转速等因素也是比较重要的工艺参数。熔体压力低,熔体分布不匀;熔体压力高,易造成熔体断裂。计量泵转速大,单位时间内流出的熔体量增加,在牵伸速度不变的情况下,得到的非织造布中纤维的直径逐渐增大,铺网速度也不变的话,则非织造布的面密度就增大,从而产品的机械强度也随之增加;但计量泵转速过大,纤维初生丝得不到充分的牵伸,大分子链的规整性较差,纤维的机械性能得不到充分改善。1997年,美国田纳西州大学 Spruiell J E 等<sup>[40]</sup>对聚乳酸纺粘非织造布的纺丝工艺进行了报道,指出低的计量泵转速会导致长丝的结晶度低收缩率高。在实际生产过程中,可根据实际需要进行调节。

### 2.2.2 牵伸工艺

纺粘法生产过程采用的是气流牵伸,常用的牵伸设备有管式牵伸、窄狭式牵伸和宽狭式牵伸。聚乳酸熔体从喷丝板出来时形成的初生纤维,其结晶度和取向度都较低,纤维脆性大、容易断裂,断裂伸长大,牵伸工艺直接影响到长丝的强度、细度、伸长率等。2010

年,东华大学 Zhao<sup>[41]</sup>对聚乳酸纺粘非织造布的牵伸工艺对聚乳酸长丝直径的影响进行了理论模型分析预测和实验研究,得出聚合物的流量小、聚合物熔体初始温度高、气流的初始温度高且初始速度大,则最终聚乳酸长丝的直径小。2012年,江苏大学常过等<sup>[42]</sup>研究了聚乳酸纺粘非织造布牵伸速度对产品性能的影响,得出随着牵伸速度的增加,PLA长丝的线密度减小,单位面积内承受机械作用的纤维增多,从而聚乳酸纺粘非织造布的机械强度也随之增加,生产中最优的牵伸速率一般为 5 000 m/min 左右<sup>[43]</sup>。

### 2.2.3 铺网工艺

纺粘非织造布的性能除了与长丝的性能有关外,与纤网的结构和均匀性也有很大的关系,在纺丝牵伸后形成的长丝必须在短时间内保证充分的分丝和均匀的铺网,否则不能保证产品的外观均匀平整。

### 2.2.4 加固工艺

不同的加固工艺对聚乳酸纺粘非织造布的性能影响很大。热轧加固是靠一对加热的辊筒使纤网部分熔融固结成布,有纤维熔融的区域织物表面的手感较硬、脆性大,纤维未熔融的区域纤网保持原来的蓬松性,强度相对较低,并且吸湿透气性也会因热粘合点而受到影响。热轧加固的关键因素是压辊的温度、压力和速度。为了改善聚乳酸纺粘非织造布热轧加固产品手感较硬的缺陷,德国萨克森纺织研究所生产聚乳酸纺粘非织造布时,把压辊温度降低到 60℃,但这样聚乳酸非织造布的强度等性能指标大大下降<sup>[28]</sup>。

针刺加固是用刚性的刺针对纤网进行反复的穿刺,从而使纤网得到固结。纺粘法生产的是长丝纤网,而且聚乳酸又是中强纤维,因此针刺的深度太深或针刺密度太大都会使长丝受到过多损伤,有可能会打断纤维使得产品强力下降。但针刺深度浅或密度小又会使纤网固结不足而影响产品的强度。在生产中,针刺密度的计算公式为:

$$D_n = \frac{Nf}{10\,000V}$$

式中:  $D_n$  为针刺密度 ( $P/cm^2$ );  $N$  为植针密度 ( $P/m$ );  $f$  为针刺频率 ( $P/min$ );  $V$  为纤网速率 ( $m/min$ )。

水刺加固是在水针直接冲击和反射水流的双重作用下,使纤网中的长丝发生位移、穿插、相互缠结抱合,从而使纤网得到加固。水刺加固是一种柔性的加固方式,因此产品强度高、手感柔软、不起毛、外观光滑平整。生产中要合理配置水刺压力和水刺道数。聚乳酸纤维是中强纤维,最大水压一般设为 10~15 MPa<sup>[9]</sup>。另外在水刺法非织造布加工过程中,最后都需要对经过水刺固结

后含有大量水分的纤维网进行烘干并使产品尺寸稳定. 聚乳酸纤维的熔点温度(120~175 ℃)较低,在烘燥聚乳酸水刺非织造布时要低于它的熔点温度.

### 3 应用领域

(1) 医疗卫生方面. 聚乳酸纺粘非织造布具有良好的生物相容性和生物降解性,并且由于乳酸表面呈弱酸性,有较好的抑菌性和消除异味的功能. 尤其是聚乳酸纺粘水刺非织造布,产品手感柔软、蓬松,悬垂性,透气性好,不易起毛掉屑,因此可用作手术衣、手术覆盖布、口罩等医疗用品,也可用作尿不湿、妇女卫生巾的面料及其他生理卫生用,用后丢弃不会产生环境污染问题.

(2) 生活用品方面. 聚乳酸纤维的直径能够达到1~10 μm,因此聚乳酸纺粘非织造布具有较大的比表面积及较小的孔径,尤其是厚型纺粘针刺非织造布可用作过滤材料,应用于空气过滤、水过滤、油过滤、油水分离等领域. 聚乳酸纺粘热轧非织造布还可以用作擦揩布、桌布、包装材料等生活用品.

(3) 其他方面. 由于聚乳酸纺粘非织造布在常温下具有良好的耐气候性和强度保持性,因此还可以应用于工业、农业、环境工程以及服装行业等领域.

### 4 结束语

聚乳酸纺粘非织造布是一种新型的可生物降解、机械性能优良的环保型长丝非织造布,结合了可再生原材料与高效的纺粘技术,在一定程度上减少了对石油化工原料的使用及其废弃物对环境的破坏,缩短了工艺流程,加快了生产速度,降低了生产成本. 尤其是聚乳酸纺粘水刺非织造布加工过程环保无污染,产品强力高、耐磨性好、手感柔软、具有良好的生物相容性和生物降解性. 因此,应加大对聚乳酸纺粘非织造布加工工艺、技术条件以及产品性能的研究,充分发挥聚乳酸纺粘非织造布的性能优势,拓宽聚乳酸纺粘非织造布的应用领域,为今后我国聚乳酸纺粘非织造布的产业化加工提供一定的指导.

#### 参考文献:

[1] MADHAVAN Nampoothiri K, NIMISHA Rajendran Nair, ROJAN Pappy John. An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research [J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101: 8493-8501.

[2] LINNEMANN B, SRI HANWOKO M, GRIES Th. Polylactide fiber (PLA) [J]. *Chemical Fibers International*, 2003, 53(6): 426-333.

[3] 李伍. 聚乳酸非织造布的用途和制备方法 [J]. *精细化工原料及中间体*, 2011(6): 39-40.

[4] 郑玉琴, 任元林. 聚乳酸非织造布的开发及应用 [J]. *非织造布*, 2009(3): 13-15.

[5] NAMPOOTHIRI K Madhavan, NAIR N R, JOHN R P. An overview of the recent developments in polylactide research [J]. *Bioresource Technology*, 2010(22): 8493-8501.

[6] LUNT James. Polylactic acid polymers for fibers and nonwovens [J]. *International Fiber Journal*, 2000(6): 48-52.

[7] VIJU S, THILAGAVATHI G. Recent developments in PLA fibers [J]. *Chemical Fibers International*, 2009, 59(3): 154-155.

[8] MEZGHANI K, SPRUIELL J. High speed melt spinning of poly(L-lactic acid) filaments [J]. *Journal of Polymer Science*, 1998, 367(7): 1005-1012.

[9] 程博闻, 刘亚, 丁长坤, 等. 一种一步法聚乳酸纺丝成网水刺非织造布及其制造方法: 中国, CN102587042A [P]. 2012-07-18.

[10] GARLOTTA D. A literature review of poly(lactic acid) [J]. *Journal of Polymers and the Environment*, 2001, 9(3): 63-84.

[11] GUPTA B N, REVAGADE J, HILBORN. Poly(lactic acid) fiber: An overview [J]. *Progress in Polymer Science*, 2007, 32(4): 455-482.

[12] ZOU Rong-hua. Study on production process of PLA spunbond nonwovens [J]. *China Textile Leader*, 2011(10): 133-137.

[13] 刘杨, 岳宏强. 纺粘热轧非织造布生产线中双辊热轧机对布面质量的影响 [J]. *非织造布*, 2009(6): 36-38.

[14] 徐丽娅. 聚乳酸水刺非织造布的开发 [J]. *现代商贸工业*, 2007(9): 255-256.

[15] 马涛, 马咏梅. 聚乳酸在聚合物直接成网法非织造布中的研究进展 [J]. *轻纺工业与技术*, 2011(2): 55-59.

[16] 李晓朋. 日本开发聚乳酸纺粘布 [N]. *中国纺织报*, 2005-10-15.

[17] 胡学超, 邹荣华, 邹慧丽, 等. 纺粘法聚乳酸非织造布的制备方法: 中国, CN 1730763A [P]. 2006-2-8.

[18] 王纪勇, 范向阳, 唐守星, 等. 聚乳酸医用纺粘非织造材料及其生产工艺: 中国, CN1710155A [P]. 2005-12-21.

[19] 常过. 聚乳酸纺粘非织造材料的制备和性能研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2012.

[20] 郭合信. 我国纺粘针刺非织造布的发展 [J]. *产业用纺织品*, 2005(12): 26-27.

[21] ZHANG Yueqing, QIAN Xiaoming. Spunbond composite technology in the application of medical and health products [C]// *Proceedings of the 2010 International Conference on Information Technology and Scientific Management*. Tianjin: Scientific Research Publishing, 2010: 457-459.

[22] JITSUO Sugai, KAZUMARU Tokunaga, KYOHEI Jok, et al.

- Improvement of mechanical properties of polylactide (PLA) spunbonds with a trial needle processing machine[J]. Textile Machinery Society of Japan, 2002, 55(1): 53-58.
- [23] 张闯, 计建中, 段腊梅. 聚乳酸纺粘针刺非织造布生产工艺探讨[J]. 非织造布, 2007(6): 25-27.
- [24] 倪冰选, 焦晓宁. 纺粘水刺复合非织造布的发展概况[J]. 产业用纺织品, 2010(1): 1-4.
- [25] WATZL A. Spunbonding and spunlacing - two leading technologies coming together[C]//International Nonwovens Technical Conference. Denver: INDA-TAPPI, 2000: 23-29.
- [26] BLECHSCHMIDT D, FUCHS H, LINDNER R. 聚乳酸可生物降解纺粘非织造布-工艺与产品参数[J]. 张静峰, 译. 国际纺织导报, 2004(4): 49-53.
- [27] BLECHSCHMIDT D, LINDNER R, ERTH H, et al. 产业用聚乳酸纤维纺粘非织造布[J]. 王英梅, 李雪纯, 译. 国际纺织导报, 2008(12): 51-56.
- [28] BLECHSCHMIDT D, FUCHS H, LINDNER R. Biologically degradable spunbonded nonwovens from PLA -process and product parameters[J]. Technical Textiles, 2004(3): 156-162.
- [29] BLECHSCHMIDT D, LINDNER H, ERTH H, et al. Spunbonded nonwovens made from polylactides for technical applications[J]. Chemical Fibers International, 2008(3): 190-193.
- [30] KHAN A Y, WADSWORTH L C, RYAN C M. Polymer-laid nonwovens from poly (lactide) resin [J]. International Nonwovens Journal, 1995(7): 69-73.
- [31] BLECHSCHMIDT Dieter, SCHILDE Wolfgang. Biologically degradable spunbonded nonwovens -process engineering and product parameters[J]. EDANA -European Disposables And Nonwovens Association, 2004, 10(4): 457-498.
- [32] LUNT Jim. 用于非织造材料的聚乳酸 [J]. 产业用纺织品, 2006(1): 18-22.
- [33] MATSUNAGA Atsushi. Biodegradation behavior of a sheath/core type of bi-component spunbond nonwovens made from poly (butylene succinate)/poly (lactic acid) [J]. Journal of the Society of Fiber Science & Technology, 2012(68): 218-224.
- [34] 赵耀明. 绿色纤维及环保型非织造布 [J]. 非织造布, 2006(3): 8-11.
- [35] 赵晓慧, 靳向煜, 陈旭炜. 聚乳酸非织造布的降解及其纤维的鉴别[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2004(4): 84-88.
- [36] SHI B, TOPOLKARAEV V, WANG J. Biopolymers, processing, and biodegradation[J]. Renewable and Sustainable Polymers, 2011(1063): 117-132.
- [37] EHRET P. Biodegradable nonwovens based on renewable resources one answer: Deposa[J]. International Nonwovens Conference, 1996(6): 11-13.
- [38] SMITH Brandon R, WADSWORTH Larry C, KAMATH M G, et al. Development of next generation biodegradable much nonwovens to replace polyethylene plastic [C]//Presentation at International Conference on Sustainable Textiles. Wuxi: American Association of Textile Chemists & Colorists, 2008: 21-24.
- [39] 吴改红, 刘淑强. 纺丝温度对可降解聚乳酸长丝性能的影响[J]. 合成纤维, 2012(1): 20-22.
- [40] SPRUIELL J E, MEZGHANI K, RYAN C M, et al. PLA-new material for nonwovens [C]//Largest International Nonwovens Technical Conference. USA: INDA-TEC, 1997: 25-36.
- [41] ZHAO Bo. Experimental study and numerical analysis for prediction of the fibre diameter of polylactic Acid (PLA) spunbonded nonwovens [J]. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2010(17): 82-86.
- [42] 常过, 邓炳耀, 刘庆生, 等. PLA 纺粘非织造材料的制备和表征[J]. 纺织学报, 2012, 34(8): 35-39.
- [43] MOCHIZUKI M. Textile applications[J]. Poly (Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications, 2011(4): 469.

(上接第 13 页)

(3) 牛血清白蛋白对 PVDF 原膜污染严重且不可逆; 在酸性和中性条件下, 牛血清白蛋白可对 PVDF-g-AA 膜造成严重不可逆的膜污染, 而在碱性环境中这种污染则不那么严重且是可逆的。

#### 参考文献:

- [1] YANG Z Y. Use of membrane in wastewater treatment in China, experiments with hollow fiber membranes in abioreact [J]. Ber Siedlung Swasser Wirtsch, 1997, 145: 75-86.
- [2] DEGEN Peter John. Polyvinylidene fluoride membrane and method for removing viruses from solutions: US, 5736051 [P]. 1998-04-07.
- [3] 吕晓龙, 胡保安, 马世虎. 聚偏氟乙烯中空纤维膜有机污染的化学清洗研究[J]. 天津工业大学学报, 2004, 23(4): 187-193.
- [4] 韩珣, 黎雁, 吕晓龙. 聚偏氟乙烯中空纤维膜化学接枝改性研究[J]. 膜科学与技术, 2007, 23(2): 15-19.
- [5] 苗小郁, 李建生, 王连军, 等. 聚偏氟乙烯的亲水化改性研究进展[J]. 材料导报, 2006, 20(3): 56-59.
- [6] 陆晓峰, 陈仕意, 刘光全, 等. 超滤膜的吸附污染研究[J]. 膜科学与技术, 1997, 17(1): 37-41.
- [7] 李涛. 改性对 PVDF 膜生物处理性能和膜污染的影响研究 [J]. 给水排水, 2009, 35(11): 157-159.
- [8] 罗子安, 魏俊富, 赵孔银, 等. 辐照接枝改性对 PVDF 中空纤维膜性能的影响[J]. 天津工业大学学报, 2012, 31(3): 6-10.
- [9] WANG X L, WEI J F, DAI Z, et al. Preparation and characterization of negatively charged hollow fiber nanofiltration membrane by plasma-induced graft polymerization [J]. Desalination, 2012, 286: 138-144.
- [10] NASEL M M, SAIDI H, DAHLAN K Z M. Electron beam irradiation effects on ethylene-tetrafluoroethylene copolymer films [J]. Radiat Phys Chem, 2003, 68: 875-883.