

# 闪蒸法非织造布研究进展及应用

彭淑娟<sup>1</sup> 樊瑞雪<sup>1</sup> 齐晓玲<sup>2</sup> 马英博<sup>2</sup> 韩玲<sup>1</sup> 苏旸<sup>2</sup>

1. 西安工程大学 纺织科学与工程学院, 陕西 西安 710048;

2. 华熙生物科技股份有限公司, 北京 100022

**摘要:**为进一步推动闪蒸法非织造布的深入研究,并拓宽其应用范围,综述了闪蒸法非织造布的研究进展。闪蒸纺丝技术所制纤维具备超细化、高强度、轻质化及高防护性等优势。系统梳理了闪蒸纺丝技术的发展历程与研究现状,重点分析了其工艺原理及主要影响因素,详细阐述了产品的主要特点及应用,并对未来闪蒸法非织造布在绿色循环可再生、智能节能可持续等领域的发展进行展望。

**关键词:** 闪蒸纺丝; 闪蒸法非织造布; 研究进展; 防水; 透气

中图分类号: TS174.8

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2025)08-0011-06

## Research progress and applications of flash-spun nonwoven

Peng Shujuan<sup>1</sup>, Fan Ruixue<sup>1</sup>, Qi Xiaoling<sup>2</sup>, Ma Yingbo<sup>2</sup>, Han Ling<sup>1</sup>, Su Yang<sup>2</sup>

1. School of Textile Materials and Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, Shaanxi, China;

2. Bloomage Biotechnology Co., Ltd., Beijing 100022, China

**Abstract:** To further advance the in-depth research on flash-spun nonwoven and expand their application scope, the research progress on flash-spun nonwoven was reviewed. Fibers produced by flash spinning technology exhibit the advantages of ultra-fineness, high strength, light weight, and superior protective properties. The development history and current research status of flash spinning technology have been systematically reviewed, focusing on analyzing its process principle and key influencing factors, elaborating in detail the main characteristics and applications of the products, and prospecting the future of flash-spun nonwovens in areas such as green recycling and renewable resources, intelligent energy conservation and sustainable development.

**Keywords:** flash spinning; flash-spun nonwoven; research progress; waterproof; breathable

随着全球经济的快速发展以及人们生活水平的稳步提高,非织造布的应用领域日益广泛。与此同时,新型纤维和差别化纤维材料不断涌现,高新技术水平逐步提升,这都共同促使非织造布的性能不断提升。闪蒸纺丝技术生产的非织造布因纤维直径

小、强度高、防水透气性好等优良特性,深受广大消费者青睐<sup>[1]</sup>,尽管我国在该技术领域的研究起步相对较晚,但是发展迅速。本文主要聚焦闪蒸纺丝技术的发展历程、工艺原理、主要影响因素以及相应产品的特点与应用。

收稿日期: 2025-04-29

作者简介: 彭淑娟,女,2005年生,在读本科生,非织造材料与工程专业,42301210523@stu.xpu.edu.cn

通信作者: 韩玲,副教授,主要研究方向为新型与功能型非织造材料、高性能防护用非织造材料,han.ling@xpu.edu.cn

# 1 闪蒸纺丝技术的发展历程及研究现状

## 1.1 闪蒸纺丝技术起源

1955年美国杜邦公司的Jin White教授开始研发闪蒸纺丝技术,并于1957年申请了专利<sup>[2]</sup>。1965年,杜邦公司将闪蒸纺丝纤维商标注册为Tyvek®(特卫强),并于1967年开始商业化生产。经过数十年的发展,闪蒸纺丝技术已成为非织造布生产工艺中不可或缺的重要技术,且极具发展前景的重要力量。

## 1.2 闪蒸纺丝技术演变

杜邦公司自1957年成功研发出闪蒸纺丝技术,便长期处于垄断地位。2010年,罗章生团队启动了闪蒸法非织造布的研发工作,经过将近10年的技术攻关,成功突破了相关技术瓶颈。2016年,厦门当盛新材料有限公司(简称“当盛”)通过持续研发,制备出首束闪蒸高强度聚乙烯丝束,实现了我国在该领域的“从0到1”的突破。2017年,当盛搭建中试

平台,翌年正式投产并实现吨级量产。2019年,当盛建成国内首条闪蒸法超高速纺丝及非织造布产业化生产线,并实现商业化量产。同年,江苏青昀新材料有限公司(简称“青昀”)自主研发的颠覆性防护材料——鲲纶™Hypak™成功面世。2022年底,当盛的“闪蒸法制造高密度聚乙烯非织造布的关键技术及产业化”成果,荣获2022年度“纺织之光”中国纺织工业联合会技术发明一等奖。2024年,青昀建成国内首条1.5万t级闪蒸纺丝产线。

## 1.3 闪蒸纺丝技术研究现状

### 1.3.1 国外研究现状

闪蒸纺丝技术的发展历程如图1所示。自1957年以来,美国杜邦公司一直占据着全球闪蒸法非织造布市场主导地位。截至2024年,杜邦公司在该领域的市场份额高达94.8%,该公司生产技术成熟、生产规模庞大、产品质量和性能被广泛认可,与此同时,该公司在生产工艺、设备制造、溶剂回收等技术环节不断优化,已实现生产效率提升与成本降低。

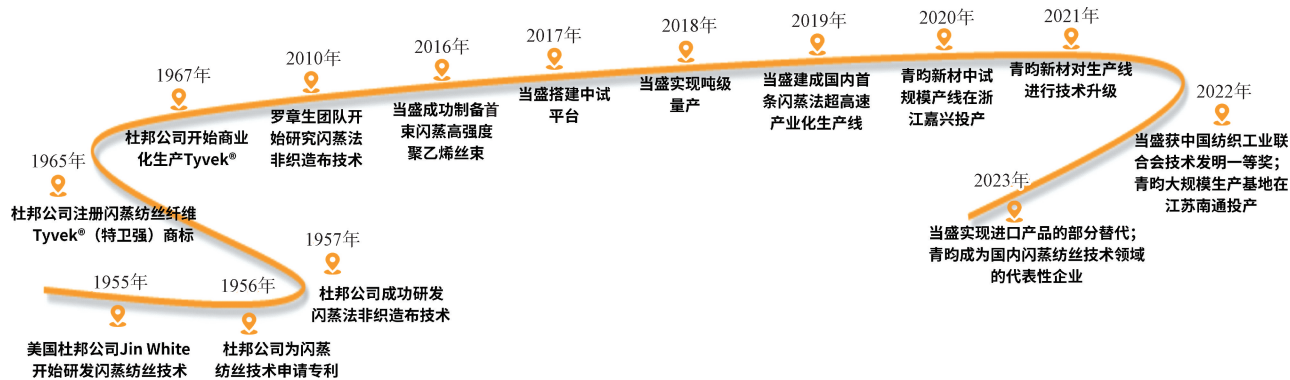


图1 闪蒸纺丝技术发展历程  
Fig.1 Evolution of flash spinning technology

### 1.3.2 国内研究现状

近年来,国内本土企业在闪蒸纺丝技术领域也实现了商业化生产。当盛和青昀闪蒸法非织造布的顺利产业化,推动了我国非织造布产业链的发展。国内企业不断突破技术瓶颈,拓宽市场渠道,其产品不仅有效填补了国内市场的空白,还替代了部分进口产品。如今,闪蒸纺丝技术产品因防水透气性优良、撕裂性强、强度高、轻便且可印刷的特性,在医疗、工业、包装、建筑和交通运输等广泛应用。典型的应用实例如:医疗器械包装、工业防护服、工业包装材料,以及屋面透气防水膜、隔热层等。

近年,在更严格的环境标准和新兴应用领域的影响下,闪蒸纺丝技术取得了重大进展。在纤维成形和取向技术方面,通过优化喷嘴设计、改善纺丝溶液参数,可进一步提高纤维的均匀性;同时利用气流或机械取向装置,能有效减少纤维的聚集。在制造面密度小于40 g/m<sup>2</sup>的超薄产品时,优化后的生产线可实现超细纤维的稳定生产<sup>[3]</sup>。在技术方面,通过优化低沸点溶剂体系、开发多喷嘴协同工艺以及引入原位功能化技术(如添加石墨烯或抗菌剂等),实现了亚微米级纤维的精细化制备和多功能复合材料的生产<sup>[4]</sup>。在材料创新方面,生物基聚合物[如

聚乳酸(PLA)、聚羟基脂肪酸酯(PHA)等]以及纳米增强复合技术的发展,不仅推动了产业的绿色转型,还提升了产品的性能<sup>[5]</sup>。闪蒸法非织造布的应用也已拓展至病毒防护、电池隔膜和智能可穿戴设备等领域<sup>[5]</sup>。同时,闭环循环生产模式、超临界二氧化碳工艺以及废物处理技术(如热压、解聚等),也有助于行业的可持续发展<sup>[4]</sup>。

## 2 闪蒸纺丝技术的工艺原理及主要影响因素

### 2.1 工艺原理

#### 2.1.1 溶液制备

将成纤聚合物(如聚乙烯、聚丙烯等)与选定的溶剂(如二氯甲烷、二氧化碳等)混合后,在高温高压的环境下搅拌直至完全溶解,即可获得均相的纺丝溶液。

#### 2.1.2 相分离与闪蒸

成网工艺示意如图 2 所示,喷嘴示意如图 3 所示。当纺丝溶液流入减压室,压力降至溶剂浊点压力时溶液发生相分离,形成 2 个液相:富聚合物相和富溶剂相。富聚合物相中含有较高浓度的聚合物,是形成纤维的主要成分;富溶剂相中的溶剂在闪蒸过程中迅速蒸发,促进聚合物析出并形成纤维。纺丝溶液从喷丝孔喷出后进入低压环境,溶剂瞬间汽化(即闪蒸),带走的热量使聚合物迅速冷却固化,从而形成超细纤维<sup>[6]</sup>。

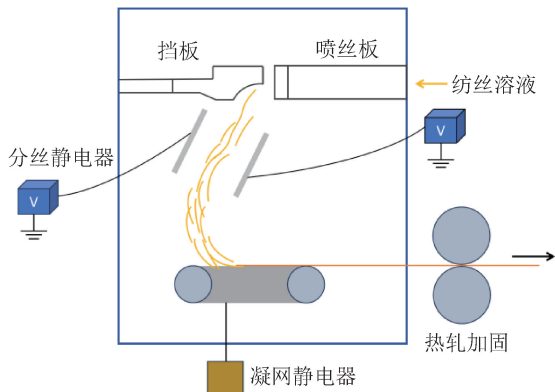
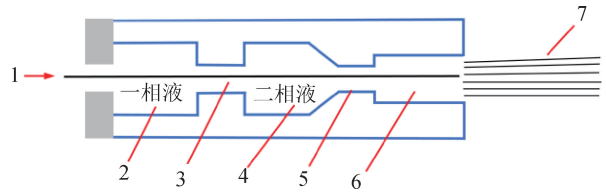


图 2 闪蒸纺丝成网工艺示意

Fig. 2 Diagram of flash spinning web formation process

#### 2.1.3 纤维拉伸与纤网成形

在喷丝口处,溶剂汽化形成的超音速气流可对聚



1—纺丝溶液入口;2—纺丝溶液输送管;3—减压孔;  
4—减压室;5—喷丝孔;6—喷丝口;7—纺丝喷流。

图 3 闪蒸纺丝成网喷嘴示意

Fig. 3 Diagram of flash spinning web formation nozzle

合物产生高速拉伸作用,从而使纤维更细。随后,通过电晕放电(即静电开纤工艺)或高速气流(即瞬态释压纺丝法)对纤维进行开纤,形成均匀的闪蒸纤网。最后,闪蒸纤网被收集装置收集并固化成形<sup>[7]</sup>。

### 2.2 主要影响因素

#### 2.2.1 原料

闪蒸纺丝技术所用聚合物原料可以为结构比较规整的聚烯烃,如超高相对分子质量聚乙烯(PE)、高密度聚乙烯(HDPE)、聚丙烯(PP)和聚甲基戊烯(PMP)等,其中以 HDPE 最普遍<sup>[8]</sup>。烯类聚合物与其他聚合物的混合物、不饱和烯烃聚合物等也可以作为原料用于闪蒸纺丝。此外,聚酯类、聚酰胺类、聚缩醛类、聚氨酯类、聚碳酸酯类也可以通过闪蒸纺丝技术制备得到闪蒸法非织造布<sup>[9]</sup>。不同聚合物的分子结构和性能会影响所得纤维的强度、柔韧性及耐化学性。

#### 2.2.2 纺丝液

纺丝液主溶剂的浓度需要严格控制。闪蒸纺丝时所选择的主溶剂应同时满足以下几个条件:①主溶剂沸点一般在 0~100℃,同时该沸点至少需低于聚合物熔点 25℃;②高温高压下,主溶剂处于沸点以上,可以溶解聚合物,常温常压下主溶剂不可溶解聚合物;③工艺设定温度范围内主溶剂不和聚合物发生反应;④纺丝溶液所处环境压力稍微减小时发生相分离,即高温高压下形成的单相纺丝溶液体系,在轻微减压时变成富溶剂相和富聚合物相的分散相体系。副溶剂主要起助溶、提高或降低纺丝液分相点压力以及降低聚合物表面张力的作用。加入添加剂是为了促进闪蒸纺丝成网过程的顺利进行或赋予闪蒸纤网某种特定的性能。添加剂种类主要有成核剂、稳定剂、抗氧化剂、膨胀剂、染料和颜料等。某些特殊的聚乙烯非织造产品如特卫强在闪蒸纺丝成网

过程中除聚合物外无需加入添加剂<sup>[9]</sup>。

### 2.2.3 纺丝工艺参数

高温高压是闪蒸纺丝技术的关键条件。温度和压力的控制直接影响纺丝液的喷出速度和溶剂的挥发速度,进而影响纤维的直径和性能。喷丝头减压孔和喷丝孔的尺寸、角度等参数,对纤维的拉伸和成形亦具有重要影响。

### 2.2.4 纤网成形与加固

闪蒸纤网需要通过特定的方式如热轧、水刺等进行加固。不同的加固方式会影响非织造布的强度和手感。例如:热轧后的闪蒸法非织造布手感较硬挺,表面更平整光滑,有利于涂胶等后道工序加工,适合用于印刷包装类产品;水刺加固后的闪蒸法非织造布强度较高,手感柔软,适合用于卫生用品、医用敷料等产品。

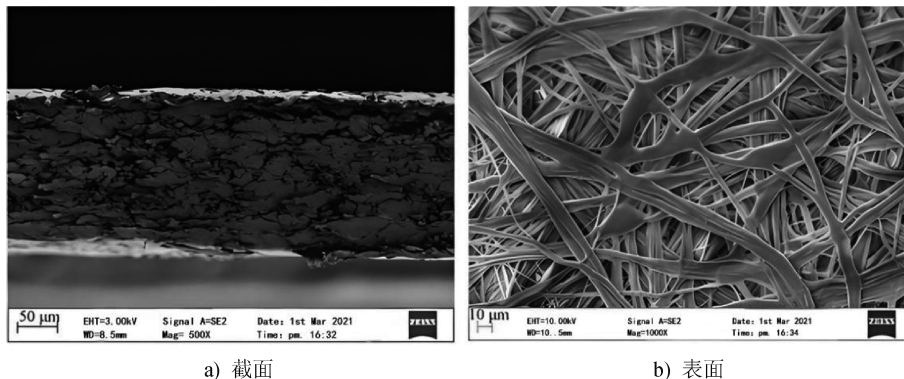


图4 闪蒸法非织造布的扫描电子显微镜照片

Fig.4 Scanning electron micrograph (SEM) of flash-spun nonwoven

## 3 闪蒸纺丝技术相应产品的主要特点与应用

### 3.1 主要特点

#### 3.1.1 高强度与高韧性

闪蒸纺丝技术生产的纤维虽细,但断裂强度高,因此,生产的薄型材料也能保持高力学性能。闪蒸高强度纤维在加工过程中,气流高速拉伸,形成高取向度和结晶度结构,加工后的制品强度高,韧性好。从表1可以看出,当盛<sup>®</sup> M7001、杜邦<sup>™</sup> Tyvek<sup>®</sup> 1073B与青昀<sup>®</sup> 鲲纶<sup>™</sup> H1075BC闪蒸法非织造布各有优势。当盛<sup>®</sup> M7001的横向断裂伸长率高达63%,表明其横向柔韧性好,能承受较大变形而不断裂。杜邦<sup>™</sup> Tyvek<sup>®</sup> 1073B的纵向和横向拉伸断裂强

#### 2.2.5 后处理工艺

对非织造布进行表面处理,如涂层、亲水处理等,可以赋予其防水、透气、抗菌等功能。罗章生等<sup>[10]</sup>采用环氧乙烷灭菌和辐照闪蒸法非织造布灭菌等整理方法,对闪蒸法非织造布进行处理,赋予了产品高微生物阻隔性、优良的透气性和透湿性、良好的耐湿稳定性和耐热老化性<sup>[10]</sup>等。

当盛生产的闪蒸法非织造布,经扫描电镜照片(图4)显示,材料由直径0.2~5.0 μm的超细纤维组成,结构呈三维网络状。该结构致密、坚韧但透气,纤维间狭长曲折的通道构成了天然物理屏障,可有效阻隔微生物穿透;即使表层有磨损,产品仍能维持高效的阻隔性能,确保防护服防护持久;同时,水分子可通过纤维孔隙自由扩散,兼顾防护与穿着舒适性,适用于医疗防护等高要求场景<sup>[10]</sup>。

度分别为75.98 N/cm和81.89 N/cm,纤维强度高且纵横向性能均衡,能有效抵抗外界的拉力作用。青昀<sup>®</sup> 鲲纶<sup>™</sup> H1075BC的纵向和横向拉伸断裂强度分别为86.61 N/cm和62.99 N/cm。经对比分析可以看出:国产闪蒸法非织造布的拉伸断裂强度基本与特卫强相当,但韧性更优异。总之,闪蒸法非织造布均具备非常优异的拉伸断裂强度和伸长率,力学性能优异。

#### 3.1.2 优异的防护性

闪蒸法非织造布因纤维细、成网密集而具有较高的孔隙率,既能够阻挡水分的渗透,又允许水蒸气通过,防水透气性优良。因此,用其制成的产品对细菌、病毒、颗粒物等具有优异的阻隔效果,并且对多种化学物质具有良好的耐受性,适用于医疗、工业防

表 1 3 种闪蒸法非织造布性能对比

Tab. 1 Performance comparison of three flash-spun nonwoven

性能	当盛 <sup>®</sup> M7001	杜邦 <sup>™</sup> Tyvek <sup>®</sup> 1073B	青昀 <sup>®</sup> 鲲纶 <sup>™</sup> H1075BC
厚度/ $\mu\text{m}$	170	185	175
面密度/ $(\text{g}\cdot\text{m}^{-2})$	71.0	74.6	86.7
纵向拉伸断裂强度/ $(\text{N}\cdot\text{cm}^{-1})$	60.00	75.98	86.61
横向拉伸断裂强度/ $(\text{N}\cdot\text{cm}^{-1})$	50.00	81.89	62.99
纵向断裂伸长率/%	34	22	45
横向断裂伸长率/%	63	26	60
纵向撕裂强力/N	2.6	3.3	5.0
横向撕裂强力/N	2.4	3.2	6.4

护和包装等领域。

### 3.1.3 轻质

闪蒸纺丝技术制得的纤维直径可达微米级或亚微米级,而且纤维堆积较松散,有效降低了材料的密度,赋予制品轻量化特性。闪蒸纺丝制成的超细纤维,铺网后再经过热轧,能更好地承受外力。

### 3.1.4 易加工

闪蒸纺丝中所使用的油墨润湿性较理想,可用于印刷和涂覆。闪蒸纤网由聚乙烯等高分子材料制成,经热封工艺处理后,可用于制作各种包装袋、防护服等,且可回收价值高。

## 3.2 产品应用

### 3.2.1 医疗领域

闪蒸法非织造布用于医用防护服时,良好的阻隔性能有利于防止病毒、细菌及血液、体液等的侵入;优良的耐静水压性能可确保材料在接触大量液体时能保持干燥和完整性;拒水性能可保证医护人员在手术和护理过程中不被液体侵蚀。在用于医用敷料时,闪蒸法非织造布良好的透气透湿性可保持伤口干燥,良好的阻隔性可防止外界微生物侵入伤口,减少感染风险<sup>[11]</sup>。

### 3.2.2 工业领域

闪蒸法非织造布因具有较高的强度与优异的耐撕裂性,被广泛用于化工、制药、环保等领域用的过滤材料中,起到去除微粒和阻断污染的作用。此外,由于此材质的力学性能良好且疏水,也可制成工业防护服,用于阻隔化学物质和粉尘,防止有害物质对工人健康造成伤害。还可凭借其良好的力学性能和疏水性,制成工业擦拭布,用来清洁相关设备。

### 3.2.3 包装领域

闪蒸法非织造布的高阻隔性可阻隔氧气、水

蒸气和油脂,延长食品或药品的保质期,被广泛用作食品及药品包装材料。该类材料还可有效阻隔微生物的穿透,同时允许灭菌气体(如环氧乙烷、过氧化氢等)透过,从而确保医疗器械在灭菌环境中保持无菌状态,故可广泛应用于高值医疗器械包装,一次性产品包装如玻尿酸注射剂包装、肉毒素包装等<sup>[2]</sup>。利用闪蒸纺丝非织造布的拒水、透气性,可有效防止外界水分及微生物的侵入,维持包装内部干燥状态,保障产品的无菌稳定性<sup>[11]</sup>。

### 3.2.4 建筑领域

闪蒸法非织造布的高强度以及耐候性,使其能够在防水透气膜中应用,可有效提高建筑材料的防水性能以及节能性能。在外墙保温体系中,其可以加强气密性、水密性以及透汽性,对雨水进行有效隔离,保护保温层,降低能源消耗;在屋顶体系中,作为屋顶的防水透气膜材料应用在保温层上方,避免出现雨水渗透问题,同时能够使水气通过,避免出现结露现象,有效延长屋顶使用年限<sup>[12]</sup>。

### 3.2.5 农业领域

在农业领域,闪蒸法非织造布可用来制备农用薄膜,其透气性有利于作物进行呼吸作用,一定的拒湿性可避免作物生长环境过于潮湿,为作物生长提供良好的环境,进而提升作物的产量和品质。如在葡萄种植上,该材料的漫反射率可改善光照条件,促进果实的成熟上色;其高阻水性可控制湿度,减少裂果;其生物屏障作用可阻隔病菌,防控害虫,从而减少农药使用,提升果实品质<sup>[13]</sup>。

## 4 闪蒸法非织造布发展展望

闪蒸法非织造布的未来具有巨大的发展潜力。

随着对可持续且高性能纤维材料需求的不断增长,关于超临界二氧化碳和生物基溶剂等环境友好型溶剂的研究在不断推进,此类溶剂凭借低环境负荷、可回收性和可持续性,可作为破坏臭氧层的卤素系溶剂的绿色替代品。此外,通过添加抗氧化剂、成核剂等添加剂来提升纤维品质,有望生产出力学性能、耐高温性能以及防渗透性能更优的材料。

在数字化浪潮中,闪蒸纺丝技术也将受益于物联网、大数据和人工智能赋能的智能生产体系。借助这些技术,可以实时监测生产设备的温度、压力等参数,并进行预防性调整,从而始终保持产品的高质量及生产的高效率。

此外,废热的回收利用以及面向航空航天<sup>[14]</sup>、电子元件封装等高性能场景的新聚合物分子结构的开发,将推动闪蒸纺丝技术领域的增长,使其在创新型非织造布的生产中发挥越来越重要的作用。

## 5 结论

近年,闪蒸纺丝技术已取得显著进展,并展现出多样的应用潜力。其特点在于纤维超细化、比表面积大以及力学性能和阻隔性能优越,在医疗保健、工业、包装和建筑等领域得到了广泛应用。尽管其在工艺优化和回收利用方面仍存在挑战,但持续的创新以及对高性能非织造布不断增长的需求,正在释放新的发展机遇。未来,闪蒸纺丝技术的发展仍会聚焦绿色生产、智能材料研发以及应用领域拓展,从而满足市场和社会的需求。



期刊采编平台



中国知网下载

## 参考文献

[ 1 ] 纪发达,王敬伟. 新型阻燃非织造布用闪蒸纺丝装置的研制[J]. 石油化工技术与经济, 2022, 38(5):

31-34.

[ 2 ] 任元林,程博闻. 闪蒸非织造布工艺研究及应用的进展[J]. 产业用纺织品, 2006, 24(2): 1-4.

[ 3 ] 林芳兵. 个人防护用微纳米纤维非织造布的制备、性能及应用[J]. 纺织检测与标准, 2023, 9(4): 41-45.

[ 4 ] 夏磊,程博闻,西鹏,等. 闪蒸纺纳微米纤维非织造技术的研究进展[J]. 纺织学报, 2020, 41(8): 166-171.

[ 5 ] WEE J H, BAE Y, CHO N P, et al. Enhancing mechanical properties of flash-spun filaments by pressure-induced phase separation control in supercritical high-density polyethylene solution [ J ]. Scientific Reports, 2022, 12: 18030.

[ 6 ] 夏云霞,李磊,罗章生,等. 基于闪蒸法制备再生聚乙烯无纺布及其性能研究[J]. 中国塑料, 2022, 36(5): 14-18.

[ 7 ] 李磊,朱倩沁,夏云霞,等. 聚乙烯瞬时释压纺丝法无纺布制备及其性能研究[J]. 中国塑料, 2021, 35(2): 41-45.

[ 8 ] 殷雨,巩岱轩,曲美洁,等. 闪蒸纺 UHMWPE/HDPE 共混纤维的制备及性能研究[J]. 合成纤维工业, 2024, 47(4): 35-40.

[ 9 ] 张正,李长金,郑萃,等. 闪蒸纺丝法制备医用包装材料的研究进展[J]. 中国塑料, 2024, 38(10): 60-66.

[ 10 ] 罗章生,何力军. 医用防护服用国产闪蒸法非织造布浅析[J]. 产业用纺织品, 2022, 40(7): 33-39.

[ 11 ] 秦悦. 闪蒸法高密度聚乙烯非织造材料在医疗包装中的应用; 访厦门当盛新材料有限公司联合创始人刘爽[J]. 纺织科学研究, 2024, 35(11): 36-38.

[ 12 ] 张万虎,黄秀宝,赵书经. 闪蒸法非织造布及其应用[J]. 北京纺织, 1996(2): 7-8.

[ 13 ] 叶孔萌,秦子轩,康桂田,等. 高密度聚乙烯超细纤维篷布的闪蒸-水刺法制备及其防水透湿性[J]. 纺织学报, 2025, 46(1): 25-33.

[ 14 ] 芦长椿. 从战略性新兴产业看纤维产业的发展(三): 高性能纤维材料在航空航天领域的应用[J]. 纺织导报, 2012(7): 115-118.

欢迎投稿

欢迎订阅

欢迎刊登广告