

医疗用非织造材料的加工技术及发展

焦宏璞 钱晓明* 钱 么 邹 驰

(天津工业大学纺织学院,天津 300387)

摘 要 结合非织造材料在医疗领域的发展现状,选取了 4 种医疗非织造布所使用的原材料,从本身特性及在医疗中应用优势出发,介绍了聚丙烯、聚乳酸纤维、生物基纤维、再生纤维素纤维的研究现状;再从工艺特点与用途方面,阐述了纺粘法、熔喷法、SMS 复合技术、纺粘水刺复合技术 4 种医用非织造布加工技术;重点总结出国外医用非织造布新型加工工艺,包括后整理工艺、静电纺技术以及其他改进工艺,介绍了新型工艺改进流程、改进后特性及在未来医疗中的应用;为医用非织造材料的选择与加工提供一定的理论依据和技术支持。

关键词 医用非织造材料,纤维,生产工艺,工艺方法

Processing technology and development of nonwoven for medical use

Jiao Hongpu Qian Xiaoming Qian Yao Zou Chi

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

Abstract Combined with the development of nonwovens in the medical field, four raw materials used in medical nonwovens were selected. The research status of polypropylene, polylactic acid fiber, bio-based fibers and regenerated cellulose fibers were introduced from its own characteristics and advantages in medical applications. From the aspects of process characteristics and applications, four processing technologies of medical nonwovens, including spunbond, melt-blown, SMS composite and spunbonded spunlace composite, were expounded. Summarizing the new processing technology of foreign medical nonwovens was focused, including finishing process, electrospinning technology and other improved processes, introducing the new improvement process, the improved characteristic and the application in the future medical applications. Theoretical basis and technical support were provided for the selection and processing of medical nonwoven materials.

Key words medical nonwoven, fiber, production process, process method

非织造技术由于生产工艺独特,可以使用广泛的生产原材料制作出具有特异型结构的材料。基于非织造的特殊性,在医疗卫生领域,非织造技术具有很强的发展潜力和拓展空间。据美国市场报告分析指出,预计全球医用非织造布市场到 2024 年将从 2016 年的 59.6 亿美元达到 120.3 亿美元,2017 年至 2024 年期间的医疗制品的复合年增长率为 9.3%。根据中国产业用纺织品行业协会的数据,截止到 2017 年底,我国医疗与卫生用纺织品全年的纤维加工量已达到 155.5 万 t,比 2016 年增长 7.5%,而且 2017 年我国出口一次性非织造布制防护服 8.63 亿美元,同比增长 8.77%,出口纱布、绷带等医用敷料 7.69 亿美元,同比增长 0.61%。

在医用纺织品中,近几年增长最快的产品包括常规绷带、生物相容性好的植入材料和面巾纸、抗菌性伤口包扎材料、假体材料及智能化纺织品等,而非织造布在这些产品的应用中呈现了广阔的发展前景。医用非织造布市场的不断发展,也推动了其原材料的开发和生产技术的进步,以满足人们生产生活的需求。

1 医用非织造原材料

1.1 聚丙烯纤维

聚丙烯(PP)纤维是在医疗卫生领域应用最广的原材料,PP 非织造布由于其重叠纤维的随机网络,多个连通孔,高热稳定性和化学稳定性以及低成

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1607117);天津市应用基础与前沿技术计划项目(16JCZDJC36400);天津市科技计划项目(14TXGCCX00014)

作者简介: 焦宏璞(1994-),女,硕士研究生,主要研究方向为医疗卫生用非织造材料。

联系人: 钱晓明,博士,教授。

本,在各种产品中发挥了很大的作用^[1]。PP 因具有比重轻、吸水性小、芯吸性好等优点,可使身体排出的体液迅速被传导,与之接触的皮肤不会产生潮湿等不适感。PP 也是极好的敷料材料的基本材料,比表面积大,有较高的孔隙度,为分泌物的排水提供了一个开放的结构,减少了二次感染的危险性。

目前,通过改性方法控制聚合物表面的化学性质是获得所需生物相容性的关键。对于 PP 的改进方法一般可分为本体改性和表面改性^[2],比如 Mazlounpour 等^[3]利用大气等离子体接枝聚合法将二烯丙基二甲基氯化铵(DADMAC)接枝到 PP 无纺布基材上,经过 AATCC TM-100 测试,证明接枝 DADMAC 的 PP 非织造布具有高抗微生物潜力,而且具有持久的抗菌特性,可用于一次性医院服、床上用品套和枕套、病人长袍等。

此外,刘鸿铭等^[4]利用硅烷偶联剂 KH-570 对 PP 纤维进行表面亲水改性,提高了其表面亲水性能;李书干等^[5]利用微胶囊技术将纳米级的 TiO_2 等材料共混制备了可降解 PP 纤维。

1.2 聚乳酸纤维

聚乳酸(PLA)纤维作为一种生物可降解纤维,具有可再生性、生物相容性、较好的机械和物理性能,且 PLA 可通过水解和酶催化进行生物降解,具有低免疫原性^[6]。PLA 是多糖或糖发酵生产的热塑性脂肪族聚酯,相对容易获得,可以从非化石、可再生天然资源如玉米、马铃薯、甜菜等中提取^[7]。PLA 材料在医疗领域可制成内部缝合线、药物或者细胞载体、组织支架等产品。如美国 BioVation 公司的 BioArmourTM^[8]利用熔喷工艺开发了一系列以 PLA 为原材料的个人护理用品,尤其适用于伤口护理,具有超高的血液吸收量,每 100cm^2 可以吸收 $50\sim 60\text{g}$ 的血液。PLA also 具有很强的可切割性能,医疗卫生产品制造商可以很容易地对其进行加工生产。

1.3 生物基纤维

生物基纤维具有独特的化学结构、生物活性、无毒性、生物相容性、可生物降解性和可回收性等特性,在现代世界的材料行业中具有良好的地位^[9]。在国内,生物基纤维已经成为“十三五”重点发展的战略性新兴产业材料之一^[10]。现有许多优秀的生物基聚合物,如生物基聚乙烯(PE)、生物基涤纶、生物基 PP、生物基 PLA 等。其中生物基 PE 作为最成熟的商业化生物基聚合物,产量约占生物塑料 28% 的市场份额,并且已成功应用于非织造领域。巴西 Braskem 公司的 Fitesa EcoFabricTM 纤维^[11]是

使用 100% 的可再生的生物基 PE 和 PLA,通过熔喷工艺加工而成的以 PLA 为芯层、PE 为外层的双组分纤维,结合了 PE 的柔软性和 PLA 的强劲强度,有望替代纺粘双组分非织造布作为医疗卫生产品的表层面料的使用。

1.4 再生丝素纤维

再生丝素纤维有良好的生物相容性及生物降解性,与皮肤细胞有一定的亲和力,在医疗领域中具有很强的发展潜力^[12]。再生丝素纤维所需的原料——丝素蛋白容易获取,一般提取于蚕丝中的高聚物,由乙氨酸、丙氨酸、丝氨酸等 18 种氨基酸组成^[13]。丝素蛋白则有良好的透氧渗水性和极小的炎症反应性,可通过工艺手段制成再生丝素纤维。

天然的丝素蛋白溶解后力学性能会降低,但经物理改性或化学交联形成的再生丝素蛋白,具有独特的螺旋组织结构及构象、较好的力学性能和一定的生物相容性,作为一种生物材料已广泛应用于医疗领域^[14-15]。李静静等^[16]以生物玻璃/丝素蛋白为主要原料设计了一款复合多孔海绵止血绷带,该产品作用于血液内源性凝血系统,能较快地实现凝血,有望成为体外快速止血纺织品的首选材料。

丝素蛋白也具有较强的可塑性,将其制成皮肤仿生支架,在创面或烧伤面的愈合过程中使用,可起到促进血管生长的作用,也可与其他物质共混,来提高皮肤仿生支架的性能。Chouhan 等^[17]利用静电纺技术将聚乙烯醇与丝素蛋白共混制备抗生素负载半封闭纳米纤维垫,经细胞外基质(ECM)模拟实验及兔子活体实验,证明该纤维垫具有良好的生物相容性和较高的保水性,且丝素蛋白独特的肽基序列更有助于伤口愈合,防止瘢痕形成。

2 医用非织造材料常用生产工艺

随着非织造技术的发展及不断改进,医用非织造材料的生产工艺已经相对比较成熟,而纺粘法、熔喷法、纺粘-熔喷-纺粘(SMS)复合技术、闪蒸技术、热粘合技术、纺粘与水刺复合技术等已经成为医用非织造制品的重要加工技术^[18]。

2.1 纺粘法非织造技术

在国内,纺粘法产品依然以 PP 纤维为主^[19],但皮芯型、海岛型、桔瓣型双组分纤维及多组分纤维日益被关注,如 PP/PE 并列型双组分纤维所制成的非织造网不仅纤网结构蓬松,而且比单组分纤维或同组分皮芯型纤维有更好的柔软度和手感,在制作医疗卫生制品的表层材料具有很大的优势。对于纺粘

工艺来说,宽狭缝负压牵伸系统是使用最广泛的纺粘牵伸工艺,国内 90% 的丙纶纺粘系统使用这种工艺,也是 SMS 生产线纺粘系统的首选。宽狭缝负压牵伸工艺生产的纤维较细(可达 0.7D),均匀度好,手感好,产品的纵横向强力比较小($MD/CD < 2$),能耗也较低,一般小于 $1000 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$,断裂伸长率低,产品已广泛用于医疗卫生领域^[20]。

2.2 熔喷法非织造技术

熔喷法非常实用,其产品可用于许多领域,其中在卫生和医疗中用于制备过滤介质、吸附垫、尿布、呼吸面罩、一次性布等。熔喷非织造生产的原材料主要有 PP、PE、聚苯乙烯、PLA、聚对苯二甲酸丁二醇酯和其他材料^[21]。

熔喷法主要制备超细纤维,生产的非织造布孔隙率高、孔径小,用于医用防护材料其阻隔性能优于纺粘和水刺非织造材料。由于纤维直径小,纤维随机取向,有三维结构,高孔隙率,熔喷材料也适用于骨或膝软骨支架。如 Erben 等^[22]利用熔喷和静电纺丝技术与羟基磷灰石粉末相结合,开发一种新型的支架,有足够的表面性质和多孔结构,有益于细胞生长、粘附和增殖,并可以在组织工程应用中用作骨替代物。

2.3 复合非织造技术

复合技术的不断发展,将纺粘法与其他非织造技术复合在生产医用制品上也很常见,如 SMS 复合技术、纺粘与水刺复合技术等。在 SMS 生产线上,纺粘系统可以为单组分或双组分,而熔喷系统一般为单组分。纺粘系统生产线生产过程中有 SS 和 SSS 两种机型,市面上比较常见的 SMS 类产品就有 SSMS、SMMS、SSMMS、SMMMS、SSMMMMS 等。如佛山必得福 MBBTM 生产的 SSMMS/SMMMS 无纺布^[23]不仅有良好的透视性,同时具备了防渗透、防穿刺、低落絮的特点,达到了 AAMI4 级的评价标准(按美国 AAMI PB-70 标准^[24],液态阻隔性能分成 4 级,其中第 1 级要求最低,第 4 级要求最严格)。随着纺粘系统和熔喷系统的组合排列,在一些生产线中会预留出一个可供安装 X 系统的物理空间,通过对产品的要求来调整生产线,如 SMXS、SSMMXS 等生产线。

近几年,纺粘与水刺复合技术更是受到了大家的关注,其利用高速水流的物理作用将纤维网加固,在加固过程中不涉及任何化学试剂,比较安全可靠,实现了绿色环保生产。水刺法非织造布的手感接近传统纺织产品,其生产的非织造布手感柔软、吸湿性

好、强度高等特性,为医用非织造布提供了良好的应用性能。

3 医用非织造材料加工技术

随着非织造技术的不断发展,国外对于医疗非织造材料的研究主要集中在以下 3 个方面:(1)利用一些物理方法,对非织造布进行特殊的后整理,如倾轧热干法、流体电喷射法;(2)使用静电纺技术制作纳米纤维作为特殊药物载体或者制作生物支架用于骨组织的修复;(3)利用特殊的工艺技术改变非织造布结构,如改进后的熔体纺丝技术、针刺工艺、水缠结法等,或者利用化学改性方法使非织造布表面具有特殊的性能。

3.1 后整理工艺

3.1.1 倾轧热干法

倾轧热干法是一种后整理方法,其思路与纺织染整中浸轧法的原理一致。将成型的布面材料浸泡于所需的溶液,通过倾轧去除多余的溶液,再经过高温或低温干燥将使溶液中的溶质部分附着于布面材料上,从而得到所需的复合材料。

Srivastava 等^[25]将柞蚕丝剪切成短纤维,脱胶干燥后将其特有的丝素蛋白纤维分散于甲酸溶液中,利用与湿法成网类似的原理方式制成丝素无纺膜;再将无纺膜浸泡于壳聚糖溶液中,经倾轧热干法制成壳聚糖成品丁腈丝素无纺复合膜。研究表明,复合膜的拉伸强度和模量、孔隙率、水蒸汽渗透性、细胞相容性等性能都有所提高,是一种很有前途的伤口敷料。

Parthasarathi 等^[26]同样利用倾轧热干法,将纳米 TiO_2 附着于聚酯(PET)非织造织物的表面以提升其抗病毒性能,并与微孔聚四氟乙烯(PTFE)和粘胶两种无纺布热轧复合,形成以 PET 为最外层、PTFE 为中间层、粘胶无纺布为内层的 3 层层压抗病毒手术衣。经测试,证明该手术衣具有优良的抗剪切性、防渗透性和抗病毒性能,可达到了 AAMI4 级的评价标准。

3.1.2 流体电喷射

流体电喷射是一种新型的后整理工艺,其主要装置有注射器泵和高电压电源,利用高压电场将注射器泵中的电流体喷射形成纳米颗粒附着于织物表面,使织物获得某些特殊性能。喷射出的电流体特性主要由注射器内所含溶液的黏度、电导率、表面张力等直接决定。

Dasdemir 等^[27]利用流体电喷射法将含氟拒水

整理剂整理到 PP 的 SMS 非织造布,赋予其超疏水及防醇的性能。通过织物的水接触角和醇接触角测量、吸湿比和增重、表面形态扫描、水蒸汽渗透性和透气性及细胞毒性等测试,并与倾轧热干法对比,证明流体电喷射法整理的 SMS 非织造布具有较高的水接触角和酒精接触角,加工过程化学消耗较少, SMS 非织布表面纤维涂层很少,织物舒适性没有显著变化,具有更好的拒水、拒酒精性能,更符合织物呼吸特性和流体阻隔特性,适合作为手术服的原材料。

3.1.3 喷墨印刷工艺

在医疗领域中,喷墨印刷工艺也在不断发展,该工艺主要利用专门的喷墨印刷设备将纳米颗粒沉积于非织造布上,使非织造布获得一定性能。如 Ivanova 等^[28]利用 Epson R2880 喷墨打印装置将含有抗微生物剂奥替尼啶的左旋聚乳酸(PLLA)纳米颗粒沉积于等离子体预处理后的 PET 和 PP 非织造布上,以增强非织造布的抗菌性能。通过 SST、SEM、X 射线光电子能谱等测试,证明制品确实具有抗菌效果,可用于制备医用伤口敷料。

3.2 静电纺技术

静电纺技术作为一种简单且用途广泛的非织造生产工艺,可生产出微米和纳米结构,并且原材料选择范围广,在生物医学领域应用潜力巨大。静电纺可制备纳米纤维来作为药物的载体,起到缓释作用,对人体进行长时间保护;也可利用其独特的结构来制备生物支架,用于骨组织相关的组织修复。

Li 等^[29]利用静电纺技术,将 PLLA 和丁酸丁酯纤维素溶液制成纳米纤维膜,在电纺的过程中喷洒溶有冰片的丙酮溶液;利用冰片的宁神镇痛的药物特性和复合膜的特性及多孔结构,可控制冰片的挥发速度,将此膜应用于可穿着的衣物上可赋予普通衣服药用价值。

Yuan 等^[30]利用静电纺技术以壳聚糖(CS)与聚环氧乙烷(PEO)为原料,制成纳米纤维支架,并研究了 3 种不同的 CS/PEO 质量比对纤维支架的影响。结果表明,CS/PEO 质量比为 2:1 时,支架对金黄色葡萄球菌的生长和附着都有较好的抑制作用,具有出色的抗菌特性和生物相容性,有望成为伤口敷料应用的候选者。

Liao 等^[31]利用双喷头的静电纺技术,利用聚己酸内酯(PCL)与玉米醇蛋白(zein)和乳酸钙(CL)的混合溶液纺出有两种不同细度的静电纺复合膜。经实验表明,5%(wt,质量分数)CL 的 zein-CL 混合溶

液与 PCL 共纺出的纤维复合膜可加速 3-氯-22-二甲基丙酰氯(CPC)沉积,表现出优异的亲水性、良好的生物活性和高细胞亲和性,有应用于生物医学的潜力,尤其是骨组织相关的组织修复。

3.3 其他工艺方法

PCL 是通过开环聚合得到,为半结晶度聚合物,无法直接熔喷技术纺丝,通常需要用静电纺加以处理。Kim 等^[32]融合熔喷技术的思路,采用多层熔体共挤出生产方式,将 PCL 与 PEO 混合熔体多次共挤,形成嵌入 PEO 基质中的 PCL 纤维结构,然后用高压水力缠结去除 PEO,得到 PCL 纳米纤维垫;再用光化学法和铜催化叠氮化物-炔烃环加成反应将几种亲水性、两性离子和两性分子的防污聚合物接枝纤维垫的表面。实验表明,纤维垫横截面纤维尺寸和屈服孔径均匀,平均孔径为 $1.6 \pm 0.9 \mu\text{m}$,且表现出约 85% 的蛋白质粘附性和 97% 的大肠杆菌吸附量,具有一定的防污抗菌性能。

Lin 等^[33]通过针刺工艺将天丝(Tence)和亲高吸水性的聚丙烯酸纤维混合成网,浸泡于 CS 和硝酸银的混合溶液,冷冻干燥 24h,制成高吸水性、多孔径的复合伤口敷料,在伤口敷料和止血材料具有很好的应用前景。

Perteghella 等^[34]通过水缠结法生产蚕丝非织造絮片,利用絮垫 3D 微结构加载间质血管细胞群(SVF),将其缝入患有糖尿病的动物体内。结果表明,该絮片可有效地产生支持血管生长的微环境,支持藻酸盐包埋的胰腺细胞的功能,保护了患有糖尿病动物的胰腺内分泌细胞。

Ye 等^[35]将聚阴离子配体丙烯酸(AA)和肝素光诱导接枝聚合到 PBT 非织造织物,接枝聚合后织物表面具有两种聚阴离子配体,对血液相容性和体外吸附胆固醇、甘油三酯和总蛋白有一定的影响,对人体血浆中的脂蛋白有高选择性吸附能力及良好的血液相容性。

4 结语

随着非织造技术的不断发展,非织造材料在医疗卫生行业的应用越来越广泛,具有巨大的发展潜力和拓展空间。在医疗领域上,非织造原材料大多数还是以 PP、PLA 纤维为主。由于环境问题的日趋严重,生物可降解纤维如生物基纤维、再生纤维素纤维逐渐进入人们的视线中,对其研究应用也越来越多。目前医用非织造布加工工艺已经相对完善,主要集中在双 S 纺粘系统、熔喷系统、SMS 复合技

术上。而纺粘与水刺复合技术由于加固过程中无化学试剂的使用,为医疗用品提供了更加健康环保的生产方式。

目前,国外对于非织造材料在医疗中的应用思路主要集中在以下 3 个方向:(1)将现有的医疗非织造布通过各种后整理的方法,以提高原本非织造产品的性能,使其具备抗菌性、超疏水、拒酒精等性能,提高非织造产品的附加价值;(2)利用静电纺这种独特的非织造工艺,将产品直接植入生物体,如蚕丝用于真皮层重建,对骨组织相关的组织修复;或将制备的纳米纤维作为药物的载体,进行缓释,实现对人体的长时间保护;(3)利用化学改性的办法对非织造布表面进行改性,获得一定的性能,或者利用水缠结法、水刺等加工工艺的非织造布作为药物的装载手段,比如利用蚕丝非织造絮片对活性细胞进行装载保护。

近年来可降解、复合化、功能化、智能化已经成为国际上医用产品的发展方向。随着非织造技术与生物医学相结合的研究发展,在未来一定能开发出科技含量更高的医疗用非织造材料,并在医疗实践中得到广泛应用。

参考文献

- [1] 陈龙,潘丹.先进的聚丙烯纤维生产发展趋势[J].当代石油石化,2017,25(11):8-14.
- [2] Xin Z, Yan S, Ding J, et al. Surface modification of polypropylene nonwoven fabrics via covalent immobilization of nonionic sugar-based surfactants[J]. *Applied Surface Science*, 2014, 300(3): 8-15.
- [3] Mazlounpour M, Malshe P, El-Shafei A, et al. Conferring durable antimicrobial properties on nonwoven polypropylene via plasma-assisted graft polymerization of DADMAC[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2013, 224(224): 1-7.
- [4] 刘鸿铭,费逸伟,孙世安,等.表面亲水改性聚丙烯纤维的性能研究[J].化工时刊,2017,31(12):15-18.
- [5] 李书干,焦晓宁.医用聚丙烯非织造布废弃物的处理方法[J].产业用纺织品,2011,29(1):30-33.
- [6] Tyler B, Gullotti D, Mangraviti A, et al. Polylactic acid (PLA) controlled delivery carriers for biomedical applications[J]. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2016, 107: 163-175.
- [7] Vink E T H, Davies S. Life cycle inventory and impact assessment data for 2014 ingeo[®] polylactide production[J]. *Industrial Biotechnology*, 2015, 11(3): 167-180.
- [8] Castro-Aguirre E, Iniguez-Franco F, Samsudin H, et al. Poly(lactic acid) mass production, processing, industrial applications, and end of life[J]. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2016, 107: 333-366.
- [9] Bedian L, Villalba-Rodríguez A M, Hernández-Vargas G, et al. Biobased materials with novel characteristics for tissue engineering applications[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 98(10): 837-846.
- [10] 于建荣,王跃,毛开云.生物基产品发展现状及前景分析[J].生物产业技术,2017(4):7-15.
- [11] Goswami P, O'Haire T. Advances in technical nonwovens [M]. Delmar: Woodhead Publishing Series in Textiles, 2016, 97-114.
- [12] 李慧君,马彦龙,贾兰,等.丝素蛋白水凝胶作为药物载体材料的研究进展[J].化工新型材料,2017,45(3):230-232.
- [13] 肖阳,杨琼,李庆荣,等.丝素蛋白在生物医药工程中的应用[J].广东蚕业,2016,50(2):24-29.
- [14] 边瑞琦,王利君,熊杰. Genipin 交联丝素蛋白纳米纤维膜的制备与性能[J].复合材料学报,2013,30(2):83-88.
- [15] Li G H, Liu H, Li T D, et al. Surface modification and functionalization of silk fibroin fibers/fabric toward high performance applications[J]. *Materials Science and Engineering C*, 2012, 32(4): 627-636.
- [16] 李静静,朱海霖,雷彩虹,等.介孔生物玻璃/丝素蛋白复合多孔海绵的结构及止血性能研究[J].功能材料,2017,48(2):2096-2101.
- [17] Chouhan D, Chakraborty B, Nandi S K, et al. Role of nonmulberry silk fibroin in deposition and regulation of extracellular matrix towards accelerated wound healing[J]. *Acta Biomaterialia*, 2017, 48: 157-174.
- [18] 刘亚,吴汉泽,程博闻,等.非织造医用防护材料技术进展及发展趋势[J].纺织导报,2017(S1):78-82.
- [19] 李娜,钱晓明.医用非织造材料的发展与应用[J].纺织导报,2017(3):67-70.
- [20] 司徒元舜.医疗卫生非织造材料的加工:原料、工艺及装备[J].纺织导报,2017(6):83-86.
- [21] Tan D H, Zhou C, Ellison C J, et al. Meltblown fibers: influence of viscosity and elasticity on diameter distribution[J]. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 2015, 165(15): 892-900.
- [22] Erben J, Pilarova K, Sanetrik F, et al. The combination of meltblown and electrospraying for bone tissue engineering[J]. *Materials Letters*, 2015, 143: 172-176.
- [23] 伍梦尧.建成 SMMM 生产线[J].纺织科学研究,2015(3):30-31.
- [24] 罗俊.医用非织造布市场及技术前景展望:中国国际非织造布会议[C].上海:中国产业用纺织品行业协会,2015.
- [25] Srivastava C M, Purwar R. Chitosan finished antheraea mylitta silk fibroin nonwoven composite films for wound dressing[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2017, 134(1): 443411.
- [26] Parthasarathi V, Thilagavathi G. Development of trilaminar antiviral surgical gown for liquid barrier protection[J]. *Journal of the Textile Institute Proceedings & Abstracts*, 2015, 106(10): 1095-1105.
- [27] Dasdemir M, Ibili H. Formation and characterization of superhydrophobic and alcohol repellent nonwovens via electrohydrodynamic atomization (electrospraying) [J]. *Journal of Industrial Textiles*, 2016, 47(1): 125-146.