

# 热风温度对 PP/TPU 熔喷非织造布结构与性能的影响

彭孟娜<sup>1</sup>, 贾慧莹<sup>1</sup>, 周彦粉<sup>1</sup>, 陈韶娟<sup>1</sup>, 陈宁<sup>2</sup>, 马建伟<sup>1</sup>  
(1. 青岛大学 纺织服装学院, 青岛 266000; 2. 四川大学 高分子研究所, 成都 610065)

**摘要:** 以聚丙烯/热塑性聚氨酯(PP/TPU)按 80/20 共混切片为原料,采用相应的工艺进行熔喷,从而制备出以 TPU 为“岛”、PP 为“海”的海岛型复合纤维结构的熔喷非织造布。并对纤维的横截面形态和纵向形态、非织造布的厚度、透气量、拉伸强度及弹性回复性能进行了表征。试验表明,高黏度的 TPU 与低黏度的 PP 混纺仍有一定的熔喷可纺性。试验发现:当其他条件保持不变,只改变热风温度时,随着热风温度的升高,纤维的平均直径及熔喷非织造布的厚度呈逐渐减小的趋势;而熔喷非织造布的透气量及拉伸强度呈逐渐增加的趋势。同时发现,PP/TPU 熔喷非织造布手感柔软,具有一定的拉伸强度和弹性回复性。

**关键词:** 聚丙烯(PP);热塑性聚氨酯(TPU);熔喷非织造布;性能;热风温度

中图分类号: TS174.8

文献标志码: A

文章编号: 1001-7003(2018)08-0035-06

引用页码: 081107

## Study on effect of hot air temperature on structure and property of PP/TPU melt-blown nonwovens

PENG Mengna<sup>1</sup>, JIA Huiying<sup>1</sup>, ZHOU Yanfen<sup>1</sup>, CHEN Shaojuan<sup>1</sup>, CHEN Ning<sup>2</sup>, MA Jianwei<sup>1</sup>

(1. College of Textile & Clothing, Qingdao University, Qingdao 266000, China; 2. Polymer Research Institute, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** The melt-blown nonwoven fabric with “Sea-Island” composite fiber structure (TPU as “island component” and PP as “sea component”) was prepared with melt-blow technology by PP/TPU (80/20) blended slices. Cross section form and longitudinal form of fibers as well as thickness, air permeability, tensile strength and elastic recovery of the nonwoven fabric were characterized. The test result shows certain melt-blown spinnability in the blends of high viscosity TPU and low viscosity PP. When other conditions kept unchanged and only hot air temperature was changed, the average fiber diameter and the nonwoven's thickness decreased with the rise of hot air temperature. The air permeability and tensile strength of nonwovens increased. The hand feel of this PP/TPU melt-blown nonwoven fabric is soft and the fabric has certain tensile strength and elastic resilience.

**Key words:** PP; TPU; melt-blown nonwovens; properties; hot air temperature

熔喷法非织造布是超细纤维自行固结形成的杂乱纤维聚合物,具有纤维直径小,比表面积大,纤维间空隙小,孔隙率高等优点<sup>[1-2]</sup>。目前,熔喷法非织造布材料以其优异的结构和性能而受到广泛的应用。应用领域涵盖医疗卫生用品、过滤材料和形状

记忆材料等,如医疗弹性绷带、用即弃型的婴儿尿布、女性卫生用品等<sup>[3-4]</sup>。聚丙烯(PP)<sup>[5]</sup>因其高流动性及低成本而成为熔喷的常用原料,此前关于纯 PP 熔喷技术已经很多,但是 PP 熔喷非织造布直接用于医疗卫生用品存在弹性和柔软性差的缺陷,因此很多人尝试对 PP 改性或与其他物质共混,使其用途更加广泛,从而具有更加广阔的发展前景。

为使熔喷非织造布具有一定的弹性和柔软性,有人尝试添加一定质量比例的热塑性弹性体<sup>[6-8]</sup>。

收稿日期: 2017-10-09; 修回日期: 2018-06-04

作者简介: 彭孟娜(1992-),女,硕士研究生,研究方向为纺织材料与纺织品设计。通信作者: 马建伟,教授,915286867@qq.com。

目前熔喷弹性非织造布的聚合物切片主要有聚氨酯(TPU)、聚酯类、聚酰胺类、A-B-A型嵌段共聚物(B为弹性段)、乙烯和 $\alpha$ -烯烃共聚物、聚醚酯类等<sup>[9]</sup>。其中,TPU是最早用于熔喷弹性非织造布的研究和应用的原料。因此,在前期探索的基础上本试验采用PP和TPU按照80/20的质量比进行熔融共混,制备PP/TPU熔喷非织造布。

## 1 PP/TPU(80/20)熔喷非织造布的制备

### 1.1 材料与设备

材料:TPU(上海巴斯夫(Basf)有限公司),熔融指数73 g/10min,货号2280A,密度1.19 g/cm<sup>3</sup>,硬度80A,熔点150℃;PP(山东青岛俊富无纺布有限公

司),熔融指数800 g/10min,密度0.92 g/cm<sup>3</sup>。

设备:SHR-40A型高速混合机(米亚格机械科技有限公司),SH-RBJ型无纺布熔喷设备(上海圣泓自动化设备有限公司),RH7型毛细管流变仪(英国马尔文(Malvern)仪器有限公司),Phenom Pro型扫描电子显微镜(复纳科学仪器(上海)有限公司),YG(B)141D型数字式织物厚度仪、YG461E-II型电脑式透气性测试仪(宁波纺织仪器厂),DR028-3000型万能材料试验机(美国英斯特朗(Instron)公司)。

### 1.2 工艺流程

PP/TPU(80/20)切片由四川大学实验室制备;PP/TPU(80/20)熔喷非织造布试样由青岛大学自主设计,委托加工的熔喷机制备,其工艺流程如图1所示。

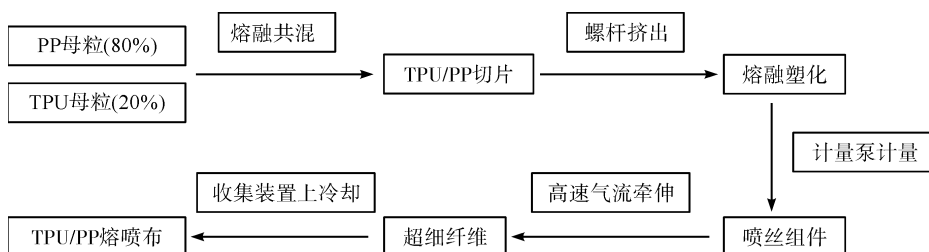


图1 PP/TPU熔喷非织造布生产工艺流程

Fig. 1 Production process diagram of PP/TPU melt-blown nonwovens

### 1.3 工艺参数

PP/TPU熔喷非织造布的制备过程中所涉及的工艺参数决定了纤维的成形过程,以及纤维的结构和性质<sup>[10-11]</sup>;同时,为了克服PP/TPU切片熔体黏度较高、流动性较差的缺点,首先应对工艺进行探索。由于熔喷工艺中牵伸部分主要由高速热空气完成,经过高速气流的牵伸,熔体丝条的加速运动是不均匀的。高聚物熔体从喷丝孔挤出后,立即遇到左右两边喷射的高速热空气流,沿着气流方向运动并被牵伸拉细,最后被运载至接收装置。在实际生产中,拉伸空气需要被加速且处于高温状态,熔喷线上高聚物离开喷丝孔后的流变行为强烈依靠高温高速的气流牵伸,这种开放式气流运动会造成熔喷不稳定的现象<sup>[12]</sup>。同时,该气流对细度的影响相当复杂,所以探索合适的热空气温度是必要的。

采用RH7型毛细管流变仪对不同温度下的PP/TPU(80/20)切片的流变行为进行了表征,剪切速率为500~3000 s<sup>-1</sup>,其流变性能曲线如图2所示。由图2可知,在同一温度下,PP/TPU的黏度随着剪切

速率的增加而降低;在相同剪切速率下,随着试验温度的升高,PP/TPU的表观黏度下降。本文经过一系列摸索,在热空气压力为350 kPa,挤出机螺杆转速45 r/min,收料筒转动线速度为1.7 m/min,模头温度240℃固定不变的条件下,制备热风温度分别为250、260、270℃条件下的熔喷非织造布样品,即1#~3#样品。

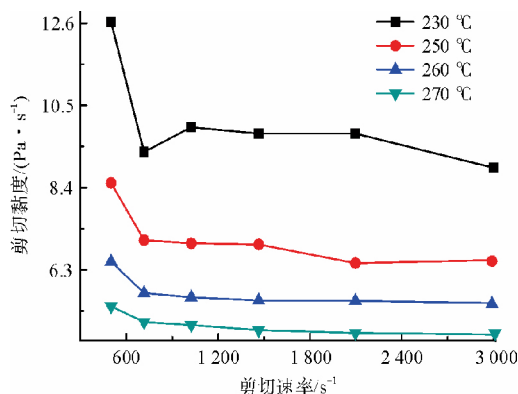


图2 不同温度下PP/TPU(80/20)切片的流变曲线

Fig. 2 Rheological curves of PP/TPU(80/20) slices at different temperatures

## 2 PP/TPU 熔喷非织造布物理性能测试

### 2.1 纤维横截面分析

将 PP/TPU 熔喷非织造布经羊毛纤维包裹,后通过哈式切片器切取,制备纤维横截面。通过 Phenom Pro 扫描电子显微镜观察前需对切片进行喷金 90 s 的处理,检测放大倍数为 5 000 倍。

### 2.2 纤维直径测试

通过 Phenom Pro 扫描电子显微镜观察熔喷非织造布的表现形貌,检测放大倍数为 1 000 倍。然后将各类别的 PP/TPU 熔喷非织造布的 SEM 图置于 Image Pro Plus 6.0 软件中,测量每组 SEM 图中 100 根纤维的直径,计算直径的分布、平均值及 CV 值。

### 2.3 厚度测试

样品厚度测量参考 GB/T 3820—1997《纺织品和纺织制品厚度的测定》,试验设备选用 YG(B) 141D 型数字式织物厚度仪。为了减小试样不均匀而带来的误差,每组测量 15 次样品的厚度并取平均值。

### 2.4 透气量测试

样品透气量依照国际标准 ASTM D737—2004《纺织面料透气性标准试验方法》,试验设备选用

YG 461E-II 型电脑式透气性测试仪。为了减小试样不均匀而带来的误差,每组测量样品 10 处不同位置的透气量并取平均值。

### 2.5 拉伸强度测试

样品拉伸强度依照国标 GB/T 3923.1—2013《纺织品 织物拉伸性能第一部分:断裂强力和断裂伸长率的测定(条样法)》标准测试,试验设备为 DR028-3000 型万能材料试验机。试验设置试样宽度为 50 mm,夹距 100 mm,拉伸速度为 100 mm/min。

### 2.6 弹性回复率测试

样品弹性回复率按照标准 FZ/T 70006—2004《针织物拉伸弹性回复率试验方法》,试验设备为 DR028-3000 型万能材料试验机,试验方法为定长反复拉伸法。

## 3 结果与分析

### 3.1 PP/TPU 熔喷非织造布的纤维横截面结构分析

图 3 为热风温度分别为 250、260、270 °C 条件下 PP/TPU 熔喷非织造布的纤维横截面结构图像。

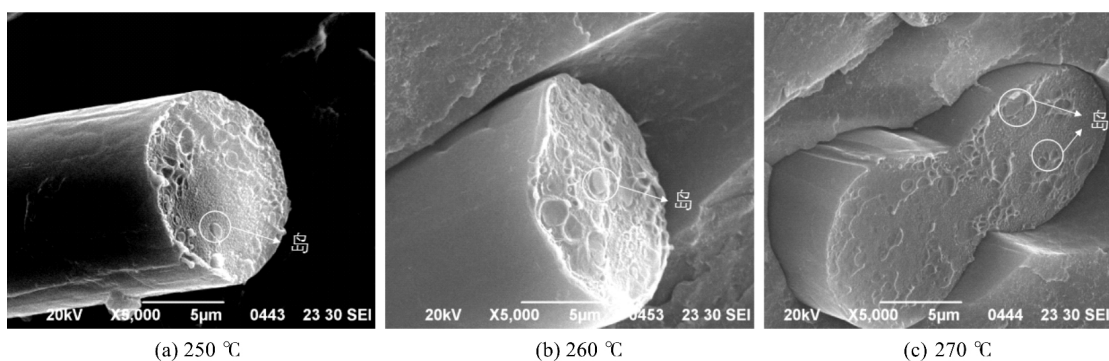


图 3 不同热风温度下熔喷纤维横截面的 SEM 图

Fig. 3 SEM diagram of cross section of PP/TPU melt-blown fibers at different hot air temperatures

由图 3 可以看出,TPU 和 PP 形成明显的以 PP 为“海”、TPU 为“岛”的海岛型纤维结构,且 TPU 分布均匀性差、粗细不一,但岛所占海的比例均较大。同时,由于 TPU 为热塑性弹性体,且在制作切片的过程中受到刀片横向剪切力的作用,在“海组分”PP 中,TPU 会存在少量的回缩现象或抽拔出来情况,说明 PP 和 TPU 流动性差异较大、界面亲和性较差,具有形成“离型”结构的可能性。如果经过适当的后处理,有可能利用这一特有的理性结构效应来提高产品的回弹性。

### 3.2 热风温度对 PP/TPU 熔喷非织造布纤维直径及面密度的影响

图 4、图 5 分别表示不同热风温度下的 PP/TPU 熔喷非织造布的 SEM 图及相应的直径分布图;图 6 为不同热风温度条件下对 PP/TPU 熔喷非织造布纤维直径的影响;表 1 为样品的基本结构参数。

由图 4 可知,PP/TPU 熔喷非织造布中纤维呈三维网状结构,相互交叉缠绕,纤维粗细分布不匀,且纤网中空隙较多。由图 5 可知,当热风温度为 250 °C 和 270 °C 时,纤维直径的分布呈正态分布的趋势。当

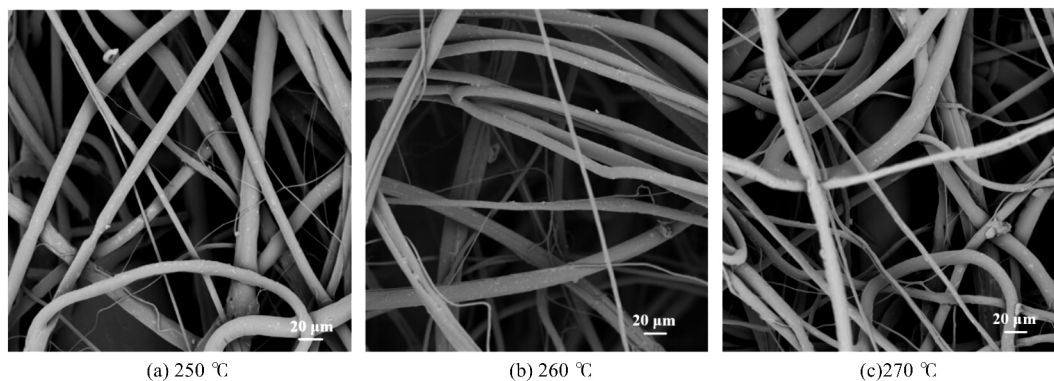


图4 不同热风温度下熔喷非织造布的 SEM 图

Fig. 4 SEM diagram of PP/TPU melt-blown nonwovens at different hot air temperatures

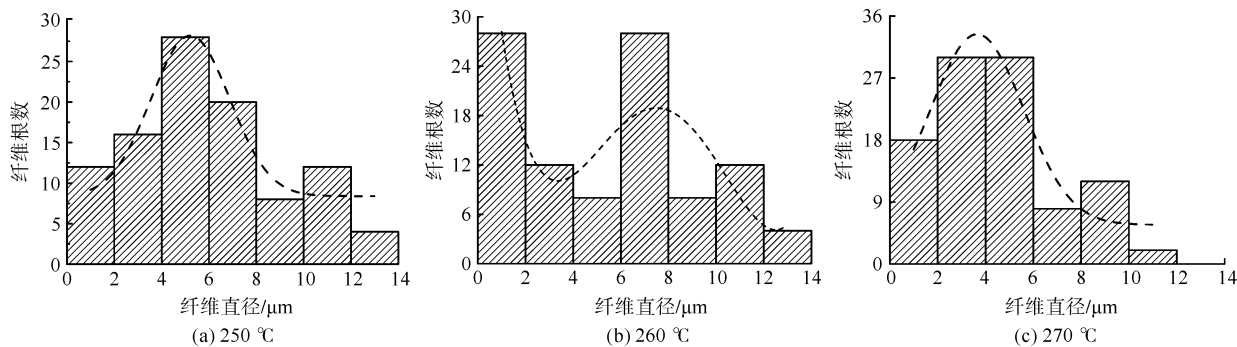


图5 不同热风温度下熔喷非织造布的直径分布

Fig. 5 Diameter distribution of PP/TPU melt-blown nonwovens at different hot air temperatures

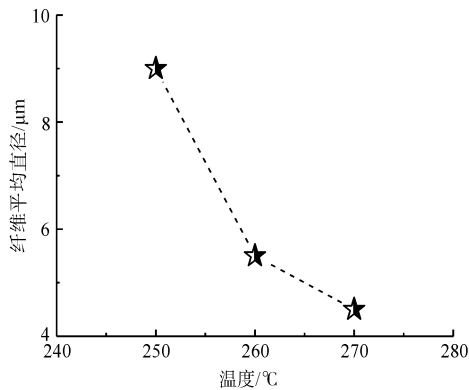


图6 热风温度对 PP/TPU 熔喷非织造布纤维直径的影响

Fig. 6 Effect of hot air temperature on diameter of PP/TPU melt-blown nonwovens

表1 样品的基本结构参数

Tab. 1 The basic structural parameters of the sample

样品编号	热风温度/°C	平均直径/μm	CV 值/%
1#	250	9.00	54
2#	260	5.52	67
3#	270	4.53	55

热风温度降为 260 °C 时,纤维直径的分布呈双峰分布,预示着温度较低,PP 组分与 TPU 组分有相分离的趋势。由于 PP 流变性能较好,能够独自成为较细

部分的熔喷纤维,即表现为“细峰”;而含有 TPU 组分的共混纤维部分,因为温度相对较低,流变性变差而构成较粗部分的熔喷纤维,即表现为“粗峰”。

由图 6 可知,随着热风温度的升高,纤维平均直径逐渐减小,其直接表现为细丝数量的增加。这主要是因为,较高的热风温度使得熔体温度下降程度减少,即大分子链段活动能力保持在较高水平上,更易于被热空气牵伸拉细。随着热风温度逐渐升高,熔体在被挤出后由未受到充分牵伸状态转变为完全拉伸状态,因此所制备的非织造布纤维直径由粗变细。

结合图 6 和表 1 可知,熔喷工艺参数——热风温度对纤网中纤维的平均直径有较大影响。在其他工艺参数固定不变的条件下,随着热风温度的升高,PP/TPU 熔喷非织造布直径粗细不匀的程度增大,细丝出现的比例也逐渐增加;纤维之间的并丝现象逐渐明显,且纤维的弯曲程度逐渐增加。

### 3.3 热风温度对 PP/TPU 熔喷非织造布透气量、厚度的影响

图 7 为热风温度对 PP/TPU 熔喷非织造布透气率及厚度的影响。



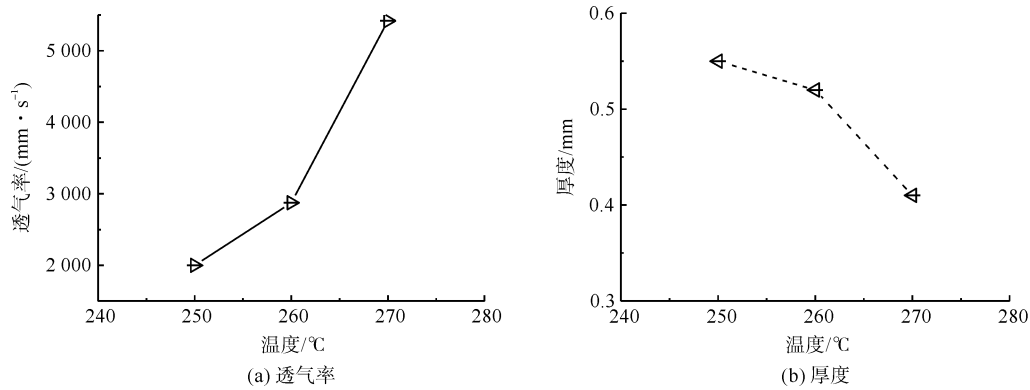


图 7 热风温度对 PP/TPU 熔喷非织造布透气率及厚度的影响

Fig. 7 Effect of hot air temperature on air permeability and thickness of PP/TPU melt-blown nonwovens

由图 7 可以看出,随着热空气温度的升高,PP/TPU 熔喷非织造布的透气率呈增加的趋势,其厚度呈减小的趋势。这主要是因为随着热空气温度的升高,纤维在热空气作用下逐渐拉细,单位面积内较细的纤维所占比例增大,纤维之间呈网状交叉分布,孔隙率增多。同时,随着面密度的逐渐减小,PP/TPU 熔喷非织造布厚度逐渐减小。影响 PP/TPU 熔喷非织造布透气性的主要因素包括流体的特性、孔隙结构、厚度、面密度等,一般来说,厚度越小,面密度越小,透气性好,从而透气率越大。

### 3.4 热风温度对 PP/TPU 熔喷非织造布拉伸性能的影响

图 8 为不同热风温度下 PP/TPU 熔喷非织造布的拉伸曲线。

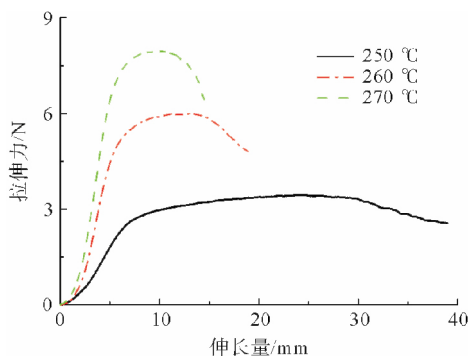


图 8 不同热风温度下 PP/TPU 熔喷非织造布的拉伸曲线

Fig. 8 Tensile curve of PP/TPU melt-blown nonwovens at different hot air temperatures

从图 8 可以看出,织物的伸长量均超过 15 mm,即伸长率高于 15%,主要是由于 TPU 加入使材料产生一定的弹性。当热风温度为 270 °C 时,纤维强力最高,意味着此时纤维受到了充分的拉伸,纤维较细。当热风温度降低为 260、250 °C 时,随着热风温度的降低,纤维的平均直径增大,织物中纤维的取向度降

低,强力有所下降。

随着热空气温度的升高,PP/TPU 熔喷非织造布拉伸强度呈增大的趋势。这主要是因为,当熔体被挤出喷丝孔以后,较高的热风温度能够有效地避免熔体在拉伸过程中的热量损失,纤维逐渐拉细,熔体得到有效的牵伸,同时并丝现象的加剧有利于 PP/TPU 熔喷非织造布拉伸强力的提升。当热风温度较低,熔体在被挤出后未受到充分牵伸,所制备的非织造布纤维直径粗,材料脆化,强力低。

### 3.5 热风温度对 PP/TPU 熔喷非织造布的弹性回复率的影响

图 9 为不同热风温度下 PP/TPU 熔喷非织造布的等速伸长拉伸曲线。

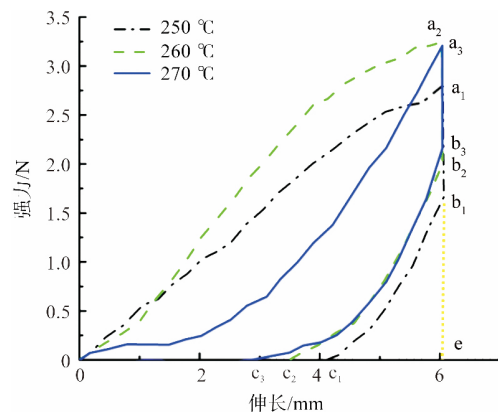


图 9 不同热风温度下 PP/TPU 熔喷非织造布的等速伸长拉伸曲线

Fig. 9 Constant velocity elongation curve of PP/TPU melt-blown nonwovens at different hot air temperatures

以拉伸功回复率  $R_w$  来表征织物的弹性回复性能,以图 9 为例,假设原点为 O,则

$$R_w / \% = \frac{S_{bec}}{S_{Oabe}} \times 100$$

式中:  $S$  表示面积。

$R_w$  越大,每次拉伸循环净耗功越小,材料受到破坏越小,弹性和耐疲劳越好。由图9可知,当热风温度为250℃及260℃时,PP/TPU熔喷非织造布的拉伸回复率较小,即弹性回复率较差;当热风温度为270℃的PP/TPU熔喷非织造布的拉伸回复率最小,弹性回复率最好。这也进一步证明了在热风温度为270℃时,纤维平均直径最小,纤维受到了充分的拉伸,使大分子取向度有所提高所致。同时,当热风温度为270℃时,PP/TPU熔喷非织造布的厚度和面密度均较小,证明纤维之间疏松、空隙多、交织点少,使得织物存在拉伸、收缩的余地。

## 4 结论

尽管PP和TPU的相容性并不是很好,但是试验证明PP/TPU具有一定的可纺性,且在PP/TPU熔喷过程中,熔体牵伸的过程至关重要。为了保证热风温度在流经狭缝后还能够达到PP/TPU共混物熔融纺丝时的要求,减小对熔体温度的影响,保证PP/TPU熔喷非织造布的顺利生产,热空气温度设置十分重要。试验证明,将热风温度提高到270℃时,产品的各项性能均达到较好水平,纤维平均直径小、透气量好、拉伸强度高、弹性回复性能好。综上可知,PP/TPU熔喷非织造布呈现出以PP为“海”、TPU为“岛”的海岛型纤维结构,且经测试,此样品具有一定的弹性和触觉柔软性,有望扩大熔喷非织造布的应用领域。

### 参考文献:

- [1] SINHA-RAY S, YARIN A L, POURDEYHIMI B. Meltblown fiber mats and their tensile strength [J]. *Polymer*, 2014, 55(16): 4241-4247.
- [2] CHENG Bowen, JIAO Xiaoning, KANG Weimin. Studies on grafting of acrylic acid onto polypropylene melt-blown nonwovens induced by electron-beam preirradiation [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, 102: 4971-4977.
- [3] HAN Wanli, WANG Xinhou. Modeling melt blowing fiber with different polymer constitutive equations [J]. *Fibers and*

- Polymers*, 2016, 17(1): 74-79.
- [4] CLARK Kimberly. Elastic Polyetherester Nonwoven Web: US 4741949 [P]. 1986-10-15.
- [5] RASAL R M, JANORKAR A V, HIRT D E. Poly (lactic acid) modifications [J]. *Progress in Polymer Science*, 2010, 35: 338-356.
- [6] 邓文键, 关克田, 庄旭品, 等. 熔喷弹性非织造布及其应用 [J]. *非织造布*, 2010, 18(6): 23-26.  
DENG Wenjian, GUAN Ketian, ZHUANG Xupin, et al. Meltblown elastic nonwovens materials and its applications [J]. *Nonwovens*, 2010, 18(6): 23-26.
- [7] DAVID L Safranski, JENNIFER M Boothby, CAMBRE N Kelly, et al. Thermo-mechanical behavior and structure of melt blown shape-memory polyurethane nonwovens [J]. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2016, 62: 545-555.
- [8] 刘让同. 弹性体在非织造布中的开发应用 [J]. *合成纤维工业*, 2001, 24(5): 34-36.  
LIU Rangtong. Development and application of elastomer in nonwoven fabric [J]. *China Synthetic Fiber Industry*, 2001, 24(5): 34-36.
- [9] 韩亚元, 李瑶君, 陈大俊. 熔喷聚氨酯弹性无纺布的研制及其力学性能 [J]. *东华大学学报(自然科学版)*, 2002, 28(4): 84-87.  
HAN Yayuan, LI Yaojun, CHEN Dajun. Preparation of meltblown polyurethane elastic nonwovens and their mechanical properties [J]. *Journal of Donghua University (Natural Science)*, 2002, 28(4): 84-87.
- [10] 田伟, 王泉, 从明芳, 等. 熔喷非织造布工艺与性能的关系 [J]. *现代纺织技术*, 2015, 23(6): 21-24.  
TIAN Wei, WANG Quan, CONG Mingfang, et al. Relationship between melt-blown nonwoven technology and performance [J]. *Advanced Textile Technology*, 2015, 23(6): 21-24.
- [11] SUN Hui, YU Bin, HAN Jian, et al. Microstructure, Thermal properties and rheological behavior of PLA/PCL blends for melt-blown nonwovens [J]. *Polymer Korea*, 2014, 38(4): 477-483.
- [12] EDWARD McNally. 熔喷法的设备、工艺和产品 [J]. *产业用纺织品*, 2008, 26(5): 23-25.  
EDWARD McNally. Basics of meltblown apparatus, process and products [J]. *Technical Textiles*, 2008, 26(5): 23-25.