

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2022.05.003

非织造布表层形貌观测与拉伸同步测试装置研制

谢纳冰¹, 张春燕^{1*}, 陈峰², 李姝佳³

(1. 上海工程技术大学机械与汽车工程学院, 上海 201620;
2. 经纬纺织机械股份有限公司, 北京 100125; 3. 东华大学机械工程学院, 上海 201620)

摘要:非织造布中纤维细观结构影响其力学性能,为了在非织造布试样拉伸的同时观测纤维细观结构,课题组研制了具备纤维表层形貌观测和非织造布拉伸力学性能测试的一体化装置。基于非织造布国家测试标准及测试要求,设计的装置包括固定夹持模块、运动控制模块、测量模块和数据与图像采集模块;对用到的仪器根据要求进行选型。最后以某水刺非织造布为例进行验证。结果表明:在一定的拉伸伸长率范围内,随着试样拉伸伸长率的增大,拉力呈现非线性增大,名义孔隙率近似线性减小;建立了非织造布细观结构与宏观力学性能间的联系。研制的测试装置具有可行性和有效性。

关键词:非织造布;表层形貌;细观结构;拉伸测试装置

中图分类号:TS171;TH145.23 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2022)05-0017-06

Development of Synchronous Test Device for Surface Morphology and Tension of Nonwovens

XIE Nabin¹, ZHANG Chunyan^{1*}, CHEN Feng², LI Shujia³

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;
2. Jingwei Textile Machinery Co., Ltd., Beijing 100125, China;
3. College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: The fiber meso-structure in nonwovens affects its mechanical properties. In order to observe the fiber meso-structure of the nonwovens during the tensile test, an integrated device with fiber surface morphology observation and tensile mechanical properties testing of nonwovens was developed. Based on national testing standards and requirements for nonwovens, the designed device included fixed clamping module, motion control module, measurement module, data and image acquisition module. The components used in the device were selected according to requirements. Finally, a spunlaced nonwovens was used as example for verification. The results show that in a certain range of tensile elongation, the tensile force increases nonlinearly and the nominal porosity decreases approximately linearly with the increase of tensile elongation; the relationship between the meso-structure and macroscopic mechanical properties of nonwovens is established. The developed test device is feasible and effective.

Keywords: nonwovens; surface morphology; meso-structure; tensile test device

非织造布因其选材原料广、生产流程短、适用性强和性价比高等优势在国内外快速发展,被广泛应用于日常生活、医疗卫生、服饰面料、环保过滤和土木建筑等领域^[1]。据中国产业用纺织品行业协会报道的数

据,2020年我国非织造布产量高达878.8万吨,同比增长35.86%^[2],已经成为全球最大的非织造布生产和消费国。

非织造布是将纤维进行定向或随机排列形成纤网

收稿日期:2022-04-17;修回日期:2022-07-07

基金项目:国家重点研发计划资助(2017YFB1304000)。

第一作者简介:谢纳冰(1997),女,河南平顶山人,硕士研究生,研究方向为纺织装备应用基础理论与技术、现代设计方法与应用。通信作者:张春燕(1980),女,安徽淮北人,副教授,主要研究方向为机器人机构学。E-mail:cyzhang@sues.edu.cn

后再经机械、热粘或化学等方法加固而成^[3],可见纤维是非织造布的主要组成成分,非织造布中纤维的微观结构影响了产品的物理力学性能。邓晓明等^[4]对水刺非织造布的孔隙结构和透湿性能进行测试,发现水刺布平均孔径越大,透湿性越好。赵博^[5]对水刺非织造布的纤网结构、厚度、面密度、透气性、透湿性、断裂强力、顶破强力、耐磨性、拒水性和硬挺度等进行了系列测试,发现水刺非织造布的性能与纤维直径、纤网厚度和纤维结构等参数有关。

目前,对于非织造布物理力学性能测试主要有均匀性、拉伸性、柔软性及透气透湿性等^[6-7],其中拉伸性是非织造布性能测试中的一个关键性能参数。现对非织造布拉伸测试多用强力测试仪和拉力试验机通用设备^[8-9],价格相对昂贵且不具有针对性;其次,对非织造布纤维微观结构的观测多采用扫描电镜法^[10-11],测试条件要求高且过程相对繁琐。目前还未有公开文献资料报道有关非织造布纤维微观结构观测与拉伸过程中力学性能参数同步获取的一体化装置。

课题组基于非织造布国家测试标准,提出一种非织造布表层形貌观测与拉伸同步测试装置的设计方案,并研制了测试装置。以某水刺非织造布为例,利用研制的测试装置对试样进行表层形貌图像采集及拉力测试,建立起非织造布微观结构与宏观力学性能间的联系。

1 测试装置设计依据

根据国家标准 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)》,确定拉伸测试方案^[12]。测试试样宽度为(50±0.5) mm,长度满足名义夹持距离(200±1) mm。在测试过程中,夹持试样的夹具一个固定、另一个以100 mm/min的恒定速度沿直线运动,确保试样的伸长与时间成正比。在拉伸过程中,获取试样拉伸长度、拉力及横向收缩量等力学性能参数与表层形貌图像。图1为非织造布表层形貌与拉伸同步测试原理图。

根据上述测试原理,该测试装置设计需满足以下要求:

1) 装置的平稳性要求。尽可能减少拉伸运动过程中可能存在的振动,保证测试过程的稳定性,避免造

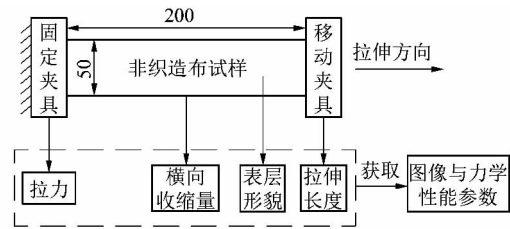


图1 非织造布表层形貌与拉伸同步测试原理
Figure 1 Principle of synchronous test for surface morphology and tension of nonwovens

成测试数据误差;2个夹具需保持在同一水平面上,保证在拉伸过程中非织造布试样不倾斜或扭转;夹具应保证试样不受破坏以及运动过程中不松弛。

2) 零件间的协调性要求。整个测试装置需协调每一个零部件,在满足所有功能实现的同时,保证零部件相互之间工作过程流畅无干涉。

3) 测试参数的精度要求。非织造布拉伸力较小,试样收缩变化量小,需控制拉力和收缩量数据的精度,减小测试误差。

4) 数据采集的同步性要求。在非织造布试样拉伸过程中,所获取的力学性能参数与试样表层形貌图像需同时获取和采集,保证测试数据同步性。

2 测试装置设计与研制

根据以上提出的测试装置4点要求,制定装置的设计方案,如图2所示。测试装置包括4大模块:固定夹持模块、运动控制模块、测量模块和数据与图像采集模块。

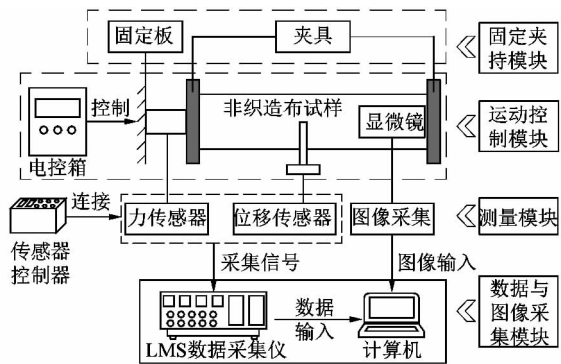


图2 非织造布表层形貌与拉伸同步测试装置设计方案

Figure 2 Design scheme of synchronous test device for surface morphology and tension of nonwovens

2.1 固定夹持模块设计

在固定夹持模块设计中,采用便于安装的铝型材作为支撑支架,铝型材上放置固定板,固定力/位移传感器、导轨和滚珠丝杆滑台模组等零件。在此模块中,针对非织造布柔软轻薄的特点,需自行设计非织造布夹具,保证非织造布受力均匀且不易松弛,夹具的设计如图3所示。

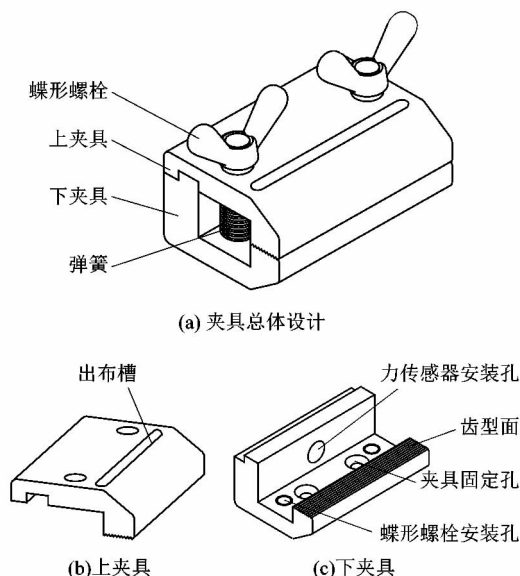


图3 夹具设计

Figure 3 Fixture design

此夹具包括上夹具、下夹具、2个蝶形螺栓和2个弹簧。其中蝶形螺栓的设计方便拧紧;弹簧可控制夹持口的张合;上夹具设计有出布槽,方便调整试样位置;通过下夹具的力传感器安装孔使用螺栓螺母将下夹具与力传感器连接,螺栓通过夹具固定孔将夹具与导轨上的滑块连接;上、下夹具设有齿型面,使非织造布试样受力均匀,且防止拉伸过程中试样脱落或滑移。使用时,拧松蝶形螺栓,弹簧自动将上夹具顶开,非织造布试样从齿型面夹持口伸入,再从上夹具出布槽穿出并拉紧,最后拧紧螺栓,夹持口闭合,完成试样的夹持。

2.2 运动控制模块设计

运动控制模块设计如图4所示,主要包括导轨、滑块、2个滚珠丝杆滑台模组、伺服电机及电控箱。

导轨上放置2个相同的滑块,2个夹具固定在2个滑块上;力传感器固定在支撑架上,同时与夹具1相

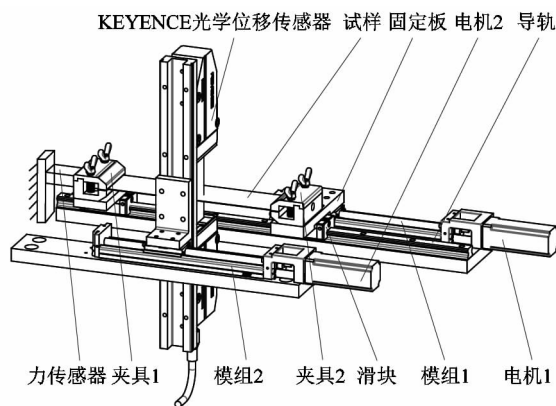


图4 运动控制模块设计

Figure 4 Design of motion control module

连;2个夹具夹紧非织造布(试样),保证非织造布沿直线拉伸;滚珠丝杆滑台模组1上的滑块与导轨上的滑块分别与固定板相连,电机1控制模组1的滑块运动,从而带动夹具2移动使试样拉伸。滚珠丝杆滑台模组2上滑块固定KEYENCE光学位移传感器,电机2控制模组2的滑块运动,以此带动光学位移传感器的移动,使其可以测量试样的横向收缩量。

2.3 测量模块设计

测量模块包括力传感器、力传感器放大器、KEYENCE光学位移传感器^[13]及位移传感器控制器。根据参考文献[5]第13页,在各类非织造布拉伸时,断裂强力不超过300N,由此来确定力传感器的量程;该力传感器配置有力传感器放大器,放大器输出信号给LMS数据采集仪便于试样拉力参数的采集。KEYENCE光学位移传感器配置传感器控制器,控制器输出信号给LMS数据采集仪便于试样横向收缩量数据的采集。课题组选用的测量模块所用器件关键参数见表1。

2.4 数据与图像采集模块设计

数据与图像采集模块包括LMS数据采集仪、光学电子显微镜以及计算机。力传感器放大器与位移传感器控制器输出信号同时输入LMS数据采集仪中,同时非织造布拉伸过程中,光学电子显微镜实时拍摄非织造布表层形貌图像,LMS数据采集仪采集的数据与显微镜采集的图像同步输入计算机,便可进行数据与图像的后处理。课题组选用的数据与图像采集模块所用器件关键参数见表2。

表1 测量模块所用器件关键参数

Table 1 Key parameters of components used in the measurement module





器件名称	型号	关键参数	实物
力传感器	SAS500	量程 500 N 输出灵敏度 1.002 8 mV/V 精度 0.05%	
力传感器放大器	HSGA1	工作电压 18 ~ 24 V DC 输入信号 0.06 ~ 30.00 mV/V 输出信号 ± 10V	
KEYENCE 光学位移传感器	LS-9030M	测量范围 0.3 ~ 30.0 mm 测量精度 ± 2 μm	
位移传感器控制器	LS-9501P	工作电压 24 V DC 输出信号 ± 10V	

表2 数据与图像采集模块所用器件关键参数

Table 2 Key parameters of components used in data and image acquisition module

仪器名称	型号	关键参数	实物
数据采集仪	LMS SCADAS XS	质量 500 g 输入信号 ± 10 V 采集时间 70 s 频率 320 Hz	
光学电子显微镜	ZQ-621	电子放大倍率 42 ~ 270 分辨率 3 840 × 2 160 像素 工作距离 110 ~ 200 mm	

2.5 测试装置研制

根据测试装置4大模块设计,研制测试装置如图5所示。此装置具有非织造布表层形貌观测系统,可在非织造布试样拉伸过程中同步采集试样表层纤维图像。

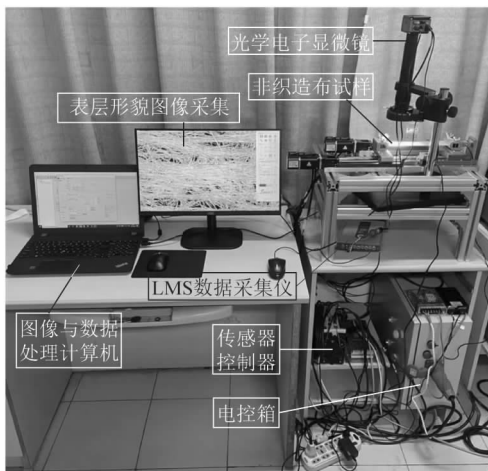


图5 测试装置

Figure 5 Test device

3 测试装置应用实例

为验证研制测试装置可行性及测试的有效性,课题组以水刺非织造布为例,根据试样表层形貌,采集拉伸过程中试样图像;基于图像处理技术得到纤网结构的其中一个参数即名义孔隙率(名义孔隙率是指采样单位面积内除所有表层纤维之外的孔隙占总面积的比值)。同时对试样进行拉伸力学性能测试,以实例验证该测试装置可建立非织造布微观结构与宏观力学性能间的联系。

3.1 试样

课题组以某水刺非织造布试样为例对其进行试验测试,试样的基本参数见表3。

表3 试样基本参数

Table 3 Basic parameters of samples

纤维质量分数/%		铺网	克质量/	裁取方向
黏胶	涤纶	方式	(g · m ⁻²)	
20	80	直铺	30	纵向(机器输出方向)

3.2 结果与讨论

测试在标准环境温度 25 ℃、相对湿度为 30% 的条件下进行。测试时,试样被夹持在 2 个夹具上,一端夹具固定,另一端夹具以 100 mm/min 的速度移动,使试样拉伸一定长度。由于水刺非织造布具有较大的松弛性和蠕变性,因此实时同步采集试样的表层形貌图像和拉力数值是正确建立非织造布微观结构和宏观力学性能间联系的基础。

在拉伸过程中,光学电子显微镜以放大 130 倍倍数实时拍摄试样的微观纤网结构图像,拍摄面积为 2.5 mm × 1.5 mm。为记录试样拉伸过程中名义孔隙率的变化,在试样拉伸伸长率分别为 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% 和 35% (试样未断裂前) 时采集图像,图像采集的位置如图 6 所示。在试样靠近中线的位置选 5 处采集位置并编号为 P1, P2, …, P5。对采集的图像进行二值化处理,利用 MATLAB 软件中的 Graythresh 函数获得图像二值化的最佳阈值并得到二值化图像,计算图像中白色部分像素点数与所有像素点数的比值,即为名义孔隙率的计算值。

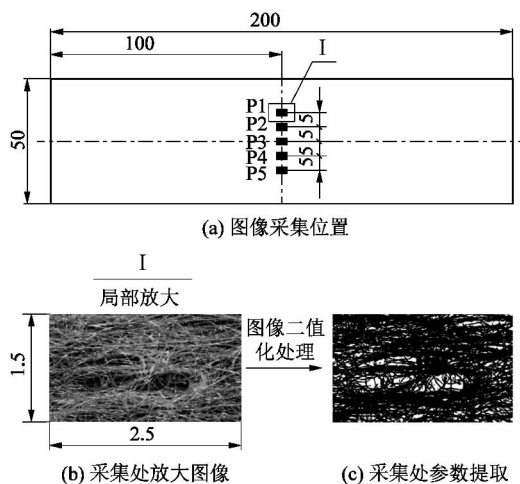


图 6 图像采集位置与参数提取

Figure 6 Image acquisition position and parameter extraction

利用研制的测试装置对试样进行拉伸测试,对 LMS 数据采集仪采集的拉力数据进行处理;在 5 处图像采集位置同步采集图像并进行图像处理,得到名义孔隙率并取平均值。绘制试样拉伸伸长率与拉力及名义孔隙率变化曲线如图 7 所示。

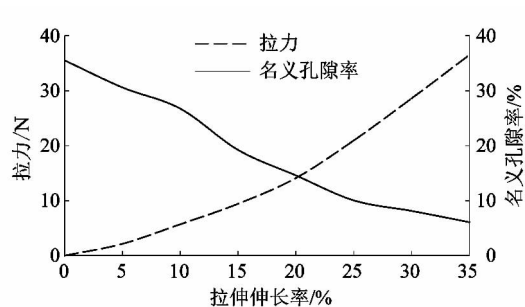


图 7 试样拉力与名义孔隙率变化曲线

Figure 7 Variation curve of tensile force and nominal porosity of sample

由图 7 可知,在一定的拉伸伸长率下,该试样的拉力随拉伸伸长率的增大而增大,名义孔隙率随拉伸伸长率的增大而减小,利用研制的测试装置能够快速有效建立非织造布微观上纤维结构与宏观上力学性能间的联系。

4 结语

课题组基于国家标准中非织造布断裂强力和断裂伸长率的测定方法,研制了一个非织造布表层形貌观测与拉伸力学性能同步测试一体化装置。以某水刺非织造布为试样进行拉伸试验,对试样表层形貌观测的同时进行拉力测试。研究表明:①在一定的拉伸伸长率范围内,随着试样拉伸伸长率的增大,拉力呈现非线性增大,名义孔隙率近似线性减小;②研制的测试装置可实现非织造布表层形貌与拉伸同步测试,能快速有效建立起非织造布微观结构与宏观拉伸力学性能间联系,具有可行性与有效性。

课题组研制的测试装置为建立非织造布微观上纤维结构与宏观上力学性能间的联系提供了一个研究平台。

参考文献:

- [1] 赵颖. 非织造布产业下一站: 高效可持续[J]. 纺织科学研究, 2020 (8): 26-27.
- [2] 圆圆. 非织造布行业发展处于重要战略机遇期[N]. 中国纺织报, 2021-07-05 (4).
- [3] 柯勤飞, 靳向煜. 非织造学[M]. 3 版. 上海: 东华大学出版社, 2016: 4.
- [4] 邓晓明, 高晶, 韩冬, 等. 基于水刺工艺的敷料用非织造布的透气性能[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2019, 45(2): 204-209.