

JDFSS-1型多功能静电纺丝机的研制

魏娜^{1,2}, 仇久安², 孙诚^{1,2}

(1. 天津科技大学, 天津 300457; 2. 天津职业大学, 天津 300410)

摘要: **目的** 针对目前国内实验室静电纺丝机存在的主要问题, 对其设备结构与功能进行研制。 **方法** 按照静电纺丝的原理和多功能、自动化操作的技术要求, 提出JDFSS-1型多功能静电纺丝机, 其包含智能化控制微量计量系统、可快速更换2种收集系统、多轴位移和多角度机构, 能够实现不同溶液体系在微量计量系统控制下的多角度喷射, 以及平板和滚筒2种接收方式。 **结果** 满足 x 轴移动位移为0~50 mm, 转动范围为0~90°, y 轴往复移动位移为0~100 mm的多功能自动化静电纺丝工艺要求。 **结论** 该设备设计先进、可变参数设置方便、实验数据获得直观可靠, 可以满足多种用途、多种材料的实验要求。

关键词: 静电纺丝机; 多功能; 自动化

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)21-0070-05

Development of Multifunctional High-voltage Electrospinning Machine

WEI Na^{1,2}, QIU Jiu-an², SUN Cheng^{1,2}

(1. Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;

2. Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

ABSTRACT: Targeting at the main problems with existing laboratory electrostatic spinning machine in China, its equipment structure and function were designed. According to the principle of electrostatic spinning and the requirements of multi-function, automation technology, this paper presented the JDFSS-1 type multifunctional electrostatic spinning machine. This machine consisted of a micro measurement system with intelligent control, two kinds of rapidly switchable collection systems, multi-axis displacement and multi-angle mechanism, and it could realize the multi-angle injection of different solutions in under the control of the micro metering system, as well as the two receiving modes of flat plate and cylinder. JDFSS-1 electrostatic spinning machine met the multifunctional and automatic operation requirements, with an x -axis displacement of 0~50 mm, a y -axis displacement of 0~100 mm and a rotation range of 0~90 degrees. In conclusion, the equipment has advanced design, convenient variable parameter setting, intuitive and reliable experimental data acquisition, and can meet the experimental requirements of a variety of uses and a variety of materials.

KEY WORDS: high-voltage electorspinning machine; multifunctional; automation

静电纺丝技术制备纳米纤维材料是近十几年来世界材料科学技术领域的最重要的学术与技术活动之一, 目前通过该技术已经成功制备出了结构多样的纳米纤维材料, 未来其在生物医用材料、过滤、防护、催化、食品工程等诸多领域将发挥巨大作用^[1-2]。目前国内外科科研人员在静电纺丝基本理论、纤维材料的合

成、结构表征及应用开发等方面做了大量研究工作, 随着纳米纤维性能要求的不断提高, 越来越多的研究人员在关注静电纺丝设备的开发^[3-5]。

捷克Elmarco纳米纤维能够实现纺丝过程从点到线的扩展, 克服了针头电纺的缺陷, 能够满足工业化的需要, 已经实现工业化生产。国内常见实验室专用

收稿日期: 2015-02-05

基金项目: 天津市高等学校科技发展基金(20120434)

作者简介: 魏娜(1981—), 女, 天津人, 在读博士, 天津职业大学讲师, 主要研究方向为包装结构与运输包装设计。

静电纺丝机的文献报道,分别具有不同的技术特点。青岛大学的一种静电纺丝教学演示装置,其主体结构包括拆除放电杆的静电感应电机、注射器金属支架、装有纺丝溶液的注射器、导线、中空不锈钢针头、带电射流或纺丝纤维、金属网收集级和收集级金属支架^[6-7]。北京化工大学的一种间断式离心熔体静电纺丝装置,主要包括甩盘、接收圈、底座和温控系统,该装置为间断送料、可用于实验研究^[8]。黑龙江东方大学的实验室静电纺丝成套装置,接收系统包括转换装置、滚筒、金属栅格网和铝箔,喷丝包括转换装置、普通注射料筒和带有加热套的注射料筒,推动系统包括转换装置、推动泵和氮气推动装置^[9]。清华大学等的电纺液成丝装置及静电纺丝机,该静电纺丝机包括共液装置、电纺液成丝装置、纤维接收装置和高压电源^[10]。南通大学纤维材料实验教学中心的静电纺丝实验室,由高压电源、溶液储存装置、喷射装置和接收装置等4个部分组成^[11]。

目前,国内实验室静电纺丝机存在的主要问题,包括针筒的安装位置及角度不可随意调节,造成针筒内溶液的喷射位置及角度不可调,使得其不能满足不同黏度溶液的喷射需要,适用范围较小,为了满足实验需要,实验室内需准备各种不同规格的静电纺丝机,不仅增加了实验成本而且还不利于实验室的科学布局;用于静电纺丝的接收装置多为单一组成形式,未能实现其组合化;实验装置多为简易装置,精度和计量准确度较低、实验记录和参数变化实现困难,不能满足试验机应有的便捷、可靠、参数可变、多角度、多转速、多形式等基本需求。

1 JDFSS-1型多功能静电纺丝机总体设计

1.1 多功能静电纺丝机的技术要求

1) 静电纺丝的原理。聚合物或者溶液在高压静电场作用下形成纤维的过程,它可以简单、方便、有效而经济地获得纳米/微米纤维,而且是目前唯一一种可以制备连续纳米纤维的技术。根据静电纺丝的原理和过程,其基本装置主要包括高压电源、喷丝头和接收装置等3个部分。高压电源提供产生纺丝液射流的高压电,纺丝液通过注射泵从喷丝头中挤出形成小滴,小滴在高压电作用下变成锥形,在超过某一临界电压后进一步形成射流,射流在空气中急速振荡和鞭动,并拉伸细化,最终沉降在接收装置上,见图1^[12-14]。

2) 喷射装置要求。能够实现0~90°任意角度变

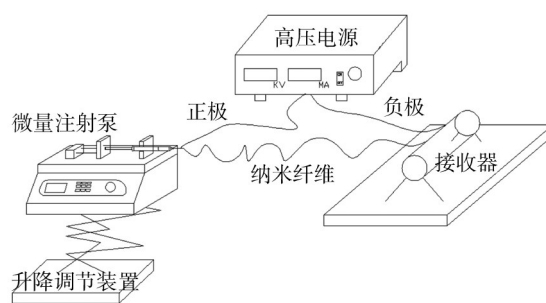


图1 高压静电纺丝原理

Fig.1 High-voltage electrospraying principle

换,x轴移动位移为0~50 mm,y轴往复移动位移为0~100 mm,滚筒转动速度为0~80 r/min且可调。

3) 微量注射控制系统要求。注射器规格适合10~60 mL等,双通道喷射,线速度范围为1~13 000 $\mu\text{m}/\text{min}$ (流量=线速度 $\times$ 注射器内截面积)。

4) 接收装置要求。能够在无须拆卸的情况下,实现滚筒和平面2种接收方式。

5) 具有较强的灵活性,参数可调,耐腐蚀,能够满足各种材料的静电纺丝要求。

1.2 JDFSS-1型多功能静电纺丝机的设计

该静电纺丝机的主要研制任务是设计一种能够满足科研、教学多种要求的多功能型静电纺丝设备,目的是通过机械自动化的方式解决设备功能单一、精度不高、稳定性不好等目前实验室静电纺丝机存在的问题,达到参数可变、多角度、多转速、多形式接收的静电纺丝工艺要求。静电纺丝工艺主要由喷射机构、接收机构、高压电源以及微量注射装置组成。静电纺丝机的多功能性主要体现在喷射机构和接收机构,JDFSS-1型多功能静电纺丝机,其独特的喷射结构可以完成在0~90°任意角度下的双通道喷射,且运动速度参数可调。接收机构包括接收辊和接收板,接收辊安装在调节托架的安装架上,而接收板翻转安装于接收辊的前端,见图2。单片机控制的微量供给系统可以满足各种材料的输出精度要求,其计算方式为式(1)。

2 JDFSS-1型多功能静电纺丝机的喷射装置设计

2.1 智能化控制微量计量系统

智能化微量控制并计量系统是JDFSS-1型静电纺丝实验机的核心技术之一,微量推送机构传动要求精密准确且工作性能平稳,因此在设计中采用精密滚珠丝杠传动和高刚度的直线导轨组合的形式。喷射

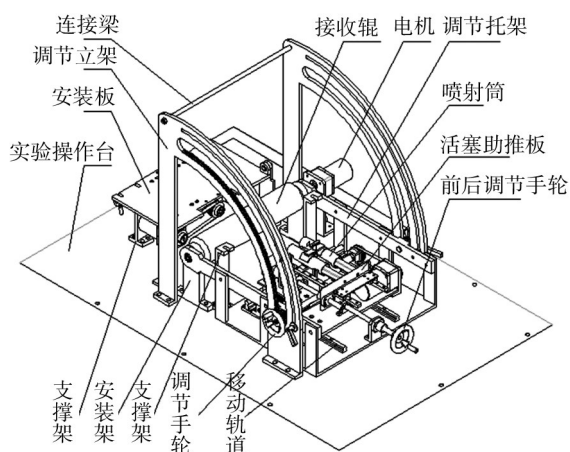


图2 JDFSS11型多功能静电纺丝机

Fig.2 Type JDFSS11 multifunctional high-voltage electrosinning machine

参数的设定与修改均是通过触屏软件来完成,其参数包括:注射器规格、流速、注射量、运行、停止、快进、快退、复位等,其计算方法,即

$$Q = \frac{60vA}{1000} = \frac{3vA}{50} \quad (1)$$

其中,

$$v = nT, A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (2)$$

式中: Q 为注射器的流量(mL/h); v 为丝杠的线速度(mm/min); A 为注射器内的截面积(mm²); n 为电机转速(r/min); T 为丝杠的螺距(mm); D 为不同规格注射器的内径(mm)。

注射过程中,通过设置注射器的内径和注射器的流量,即可通过式(1)计算出丝杠运行的线速度。

2.2 喷射机构设计

喷射机构的设计不仅需要考虑 x 轴和 y 轴变化对静电纺丝的影响,同时满足其在水平、垂直等不同位置喷射对于静电纺丝的影响,同时满足双通道的喷射要求,因此JDFSS-1型静电纺丝机的喷射机构需要有 x 轴、 y 轴和空间角度3个调节机构。 x 轴通过调节手轮控制前后移动轨道从而改变水平方向的距离,即调整喷射筒与接收辊之间的距离,调整范围可以达到0~50 mm; y 轴方向设计为左右往复移动式,有独立的控制电机驱动,运动结构为直线导轨式准确平稳,移动速度任意设定0~400 mm/min,配合滚筒或者平板式收集系统可以实现纤维膜均匀的收集且可控制其厚度。空间角度的调节是通过调节左右两侧立架内的调节齿来完成0~90°任意角度变换。

3 JDFSS-1型多功能静电纺丝机的接收装置设计

JDFSS-1型多功能静电纺丝机能够实现平板式和滚筒式2种接收方式,滚筒式和平板式2种收集系统同时设计安装在设备上。当需要滚筒收集时,只需将平板式收集系统翻转安装板搭置于前支撑架上,此时接收板朝下放置。关闭平板移动控制电机,打开滚筒旋转按钮设置好工作转速,接收辊开始旋转,针筒内喷射的溶液形成细丝均匀地缠绕在接收辊上,即可达到滚筒接收的目的,见图3。如果需要平板式收集形式,将板式接收机构上的安装板搭置于后支撑架上,接收板覆盖在接收辊之上并朝上放置,将针筒置于接收板的正上端,此时,针筒与接收板垂直。关闭滚筒旋转电机,打开平板移动控制电机,此时接收板在电机的驱动下前后移动,针筒内喷出的细丝均匀地覆盖在置于接收板之上的锡箔纸上,即可完成平板式接收(见图4),这种设计结构可以满足不同实验材料收集方式的需求。

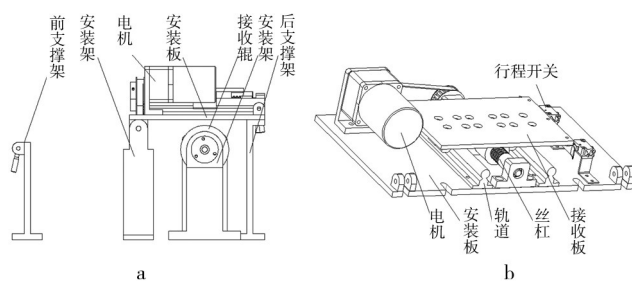


图3 平板接收时工作状态

Fig.3 Working condition of plate receiving

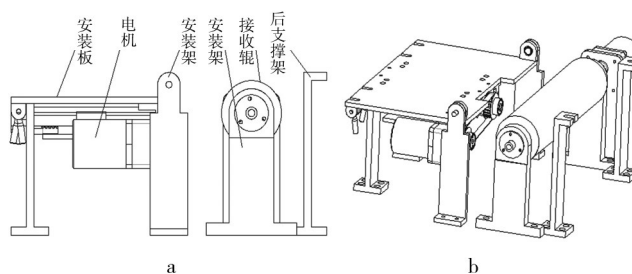


图4 滚筒接收时工作状态

Fig.4 Working condition of drum receiving

4 实验测试

接收距离是影响纺丝效果的一个主要因素,增大

接收距离即减小了电场强度。这样使射流在电场中运动的距离加大,有助于生成直径更小的纤维,同时有利于溶剂在电场中是充分挥发。实验中选用醋酸纤维素为静电纺丝对象,丙酮为溶剂,通过改变接收距离,观察其纤维形貌。从图5可以看出当溶液浓度为4%时,不同接收距离对纤维效果的影响不同,当接收距离为10 cm时,其纤维形态最优,因此喷射机构中 x 轴方向的调节对于静电纺丝的影响是非常重要的。

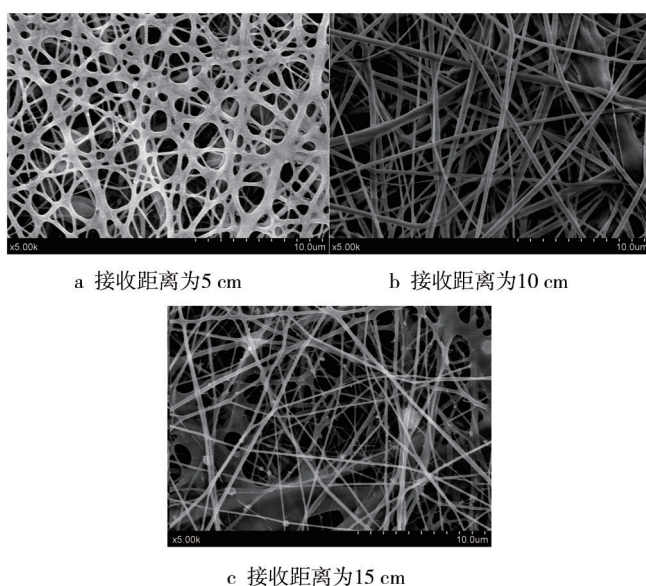


图5 不同接收距离时的纤维结构

Fig.5 Fiber structure at receiving distance of 5 cm, 10 cm and 15 cm

喷射机构中双通道的设计不仅能够解决单通道喷射效率低的问题,同时为制作复合静电纺丝纤维膜提供了前提条件。2种纺丝液共同喷射时,需确定适合的工艺参数,以保证2种纺丝液均能纺织出均匀且长的纤维。图6中所用醋酸纤维素和壳聚糖进行双通道喷射,其实验参数为电压13 kV,流速1.0 mL/h,接收距离10 cm。在此参数下,可得到均匀良好的静电纺丝复合纤维膜。

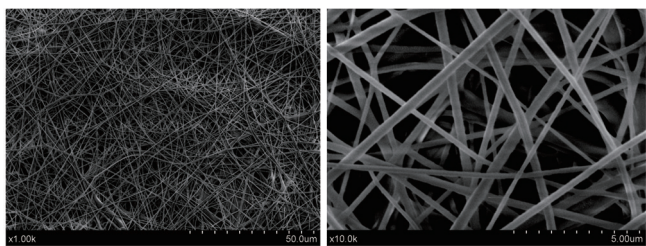


图6 双通道喷射效果

Fig.6 The effect of double channel injection

5 结语

1) 综合考虑目前静电纺丝实验设备功能单一、精度和稳定性差,实验方法单一等不足,依据静电纺丝的原理及工艺要求,自主研发了JDFSS-1型静电纺丝机,该实验设备可适用于包装、食品、药品、电子、纺织等领域中各类电纺材料的研究。

2) 针对静电纺丝的工艺要求,构建了智能化控制微量计量系统,通过触屏设定实验参数,能够满足注射器规格为10~60 mL的双通道喷射。

3) 滚筒式和平板式集成收集系统,解决了不同实验材料收集方式的要求。

4) 通过轴位移和多角度机构设计,实现了 x 轴、 y 轴位移和角度精确调节,满足静电纺丝产品的尺寸和厚度的调节要求。

参考文献:

- [1] 丁彬,俞建勇. 静电纺丝与纳米纤维[M]. 北京:中国纺织出版社,2011.
DING Bin, YU Jian-yong. Electrospinning and Nanofibers[M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2011.
- [2] 张克宏,王鹏. 静电纺丝法制备PVA/T EOS复合纤维膜的研究[J]. 包装工程,2009,30(10):74—77.
ZHANG Ke-hong, WANG Peng. Study on Preparation of PVA/TEOS Hybrid Membrane by Electrostatic Spinning Method[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 74—77.
- [3] 高鹤森. 静电纺丝制备纳米纤维及其装置的研究进展[J]. 材料导报,2012,26(20):102—106.
GAO He-sen. Research Development in Electrospinning Technique for Manufacturing Nanofibers and Progress on Their Apparatus[J]. Materials Review, 2012, 26(20): 102—106.
- [4] 郝明磊,郭建生. 国内外静电纺丝技术的研究进展[J]. 纺织导报,2013(1):58—60.
HAO Ming-lei, GUO Jian-sheng. Latest Progress on Electrospinning at Home and Abroad[J]. China Textile Leader, 2013(1): 58—60.
- [5] 邵浩,张学斌. 静电纺丝技术的应用及其发展前景[J]. 广州化工,2011,39(2):42—49.
SHAO Hao, ZHANG Xue-bin. Application and Prospect of Electrospinning Technique[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2011, 39(2): 42—49.
- [6] 青岛大学. 一种压电陶瓷电源式微型静电纺丝装置:中国,102409416A[P]. 2012-04-11.
Qingdao University. A Piezoelectric Ceramic Power Supply Type Micro-electrospinning Device: China, 102409416A[P].

- 2012-04-11.
- [7] 青岛大学. 一种静电纺丝教学演示装置: 中国, 102982720A [P]. 2013-03-20.
Qingdao University. Electrospinning Teaching Demonstration Device: China, 102982720A [P]. 2013-03-20.
- [8] 北京化工大学. 一种间断式离心熔体静电纺丝装置: 中国, 203360643U [P]. 2013-12-25.
Beijing University of Chemical Technology. Intermittent Centrifugal Melt Electrospinning Device: China, 203360643U [P]. 2013-12-25.
- [9] 黑龙江东方学院. 实验室静电纺丝成套装置: 中国, 202830247U [P]. 2013-03-27.
East University of Heilongjiang. Laboratory of Electrospinning Device: China, 202830247U [P]. 2013-03-27.
- [10] 清华大学, 张家港智电可再生能源与储能技术研究所有限公司. 电纺液成丝装置及静电纺丝机: 中国, 202830247U [P]. 2013-10-02.
Tsinghua University, Zhangjiagang Smartgrid Renewable Energy and Energy Storage Technology Research Institute Co. Ltd. Electrospinning Filament Device and Electrospinning Machine: China, 202830247U [P]. 2013-03-27.
- [11] 南通大学纤维材料实验教学中心. 静电纺丝实验室 [EB/OL]. <http://xwcl.ntu.edu.cn/showc.asp?FatherID=1&Cid=32&ID=277> (2009-05-12).
The Experimental Teaching Center of Nantong University of Fiber Materials. Electrospinning Laboratory [EB/OL]. <http://xwcl.ntu.edu.cn/showc.asp?FatherID=1&Cid=32&ID=277> (2009-05-12).
- [12] 杨大祥, 李恩重, 郭伟玲, 等. 静电纺丝制备纳米纤维及其工业化研究进展 [J]. 材料导报, 2011, 25(8): 64—68.
YANG Da-xing, LI En-zhong, GUO Wei-ling, et al. Research and Industrial Development of Nanofibers Prepared by Electrospinning [J]. Materials Review, 2011, 25(8): 64—68.
- [13] LI D, CANN J T, XIA Y N. Electrospinning: A Simple and Versatile Technique for Producing Ceramic Nanofibers and Nanotubes [J]. J Am Ceram Soc, 2006, 89(6): 1861.
- [14] 王晗, 李文望, 陈安, 等. 针对纳米纤维制备的静电纺丝技术研究进展 [J]. 广东工业大学学报, 2012, 29(1): 78—81.
WANG Han, LI Wen-wang, CHEN An. Advances in Electrospinning Technology for Preparing Nanofibers [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2012, 29(1): 78—81.

(上接第 46 页)

- [9] 彭国勋. 物流运输包装设计 [M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012.
PENG Guo-xun. Logistics Transportation Packaging Design [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [10] 王建清. 包装材料学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011.
WANG Jian-qing. Packaging Material [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011.
- [11] 张波涛, 叶梁玉, 刘朝阳, 等. EPE 缓冲包装优化设计 [J]. 包装工程, 2006, 27(6): 211—212.
ZHANG Bo-tao, YE Liang-yu, LIU Zhao-yang. Analysis of Optimal Design and Manufacturing of EPE Cushion Packaging [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 211—212.
- [12] 彭国勋. 运输包装 [M]. 北京: 印刷工业出版社, 1999.
PENG Guo-xun. Transportation Packaging [M]. Beijing: Printing Industry Press, 1999.
- [13] 张波涛, 叶梁玉, 刘朝阳, 等. EPE 缓冲包装优化设计 [J]. 包装工程, 2006, 27(6): 211—212.
ZHANG Bo-tao, YE Liang-yu, LIU Zhao-yang. Analysis of Optimal Design and Manufacturing of EPE Cushion Packaging [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 211—212.
- [14] 高德, 卢富德. 聚乙烯缓冲材料多自由度跌落包装系统优化设计 [J]. 振动与冲击, 2012, 31(3): 69—72.
GAO De, LU Fu-de. Optimization Design of MDOF Package Cushioning System Made of Polyethylene [J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(3): 69—72.
- [15] 宋日恒, 张治国. 基于 ANSYS 的笔记本电脑包装件跌落仿真研究 [J]. 浙江科技学院学报, 2009, 21(4): 332—335.
SONG Ri-heng, ZHANG Zhi-guo. Simulation on Laptop Package Dropping by Using ANSYS Software [J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2009, 21(4): 332—335.
- [16] 刘学. 发泡聚乙烯包装系统动力学有限元分析 [J]. 包装工程, 2011, 32(13): 11—13.
LIU Xue. Finite Element Analysis of Dynamic Properties of Expanded Polyethylene Cushion Packaging System [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 11—13.