

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19920131152881

UDC_____

廈門大學

硕士学位论文

螺杆电极多射流静电纺丝实验研究

Experimental Study on Multi-Jets Electrospinning via
Screw Electrode

陈新敏

指导教师姓名: 孙道恒 教授

郑高峰 副教授

专业名称: 机械制造及其自动化

论文提交日期: 2016年5月

论文答辩时间: 2016年5月

学位授予日期: 2016年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2016年05月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2.不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

电纺纳米纤维在过滤材料、传感器、生物医疗、能量存储等领域都有着极其广阔的应用前景，而批量制备纳米纤维是其从实验室走向市场的关键。本文中提出一种基于螺杆电极的多射流静电纺丝装置，研究了多射流喷射调控规律，开发了带自清洁功能的储液滑块以实现纺丝溶液的持续、均匀供给，实现了纳米纤维的批量化稳定喷射。

通过 ANSYS 仿真分析了螺杆电极表面电场分布，完成带螺杆电极多射流静电纺丝平台机械结构与电气控制系统的设计开发；利用螺杆带动储液滑块往复运动，实现纺丝溶液的均匀涂布与持续供液；螺杆上螺牙增强了局部电场促进了射流的稳定喷射，保证多射流的持续电纺，提高纳米纤维产量；20min 内螺杆电极静电纺丝纳米纤维最高产量达 2.8232g，是传统单喷头静电纺丝产量的 400 倍左右。

基于运动学理论，分析射流喷射模式和喷射行为，明确螺杆电极转速、半径与射流偏离竖直方向角度的关系，结果表明减小螺杆电极转速和半径有利于提高射流喷射的稳定性；射流启动电压随着溶液浓度、纺丝距离的增大而增大，随着螺杆转速、供液速度的增大而减小；纳米纤维直径随着纺丝电压、溶液浓度、供液速度的增大而增大，随着纺丝距离、螺杆转速的增大而减小；纳米纤维产量随着纺丝电压、供液速度的增大而增大，随着纺丝距离、溶液浓度的增大而减小，为批量纳米纤维喷射控制提供实验基础；储液滑块沿螺杆往复运动，有利于增强纳米纤维在收集板上分布的均匀性，收集板上纳米纤维分布的重量误差率在 2.17%-17.34%。

建立螺杆电极多射流纺丝电液耦合数学模型，分析各工艺参数与射流半径、射流速度之间的内在联系，阐述提高纤维产量的途径，明确了螺杆电极静电纺丝射流电流特性；通过模型分析可知通过增大供液量、提高电压或者降低距离都有利于提高纤维的产量。模型分析结果与实验结果相吻合，为纳米纤维产量提高和多射流静电纺丝控制提供理论依据。

本文提出的螺杆电极多射流静电纺丝法具有纤维产量高、连续性好、结构简单、操作方便等特点，为批量电纺提供了一种新型技术手段，有利于促进静电纺丝技术的产业化应用。

关键词：螺杆电极；批量电纺；多射流纺丝；纳米纤维；电液耦合

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Electrospinning nanofibers have shown great potential in the fields of filter materials, textiles, bio-technology, tissue engineering, energy conversion etc. The massive production of nanofibers is the key to taking nanofibers from lab to industrialization. This paper proposes a multi-jets electrospinning method by using a screw as an electrode. An electrospinning system with self-cleaning function is built which can produce multi-jets.

The electric field distribution of screw electrode is analyzed through ANSYS. Then, the design and development of the mechanical structure and electrical control system of multi-jets electrostatic spinning platform with screw electrode is completed. The liquid is applied to screw continuously and automatically by liquid slider with a reciprocal motion. The local electric field is enhanced by the screw tip which promotes the stable ejection of the jets and ensures the continuous electrospinning of the multi-jets, so as to improve the production of nanofibers. The maximum production of nanofibers in 20 minutes is 2.8232g which is about 400 times of single needle electrospinning.

The relationship between jets' vertical deflection angle and screw rotating speed, radius is studied through the analysis of jets ejection. The result indicated that decreasing screw rotation speed and radius will improve the stability of jets. The experiment results indicate that jets starting voltage increase with the increasing of solution concentration, spinning distance and decrease with the increasing of screw rotating speed; The diameter of fibers increase with the increasing of spinning voltage, solution concentration, liquid supply velocity and decrease with the increasing of spinning distance and screw rotating speed; The production of fibers increase with the increasing of spinning voltage, liquid supply speed and decrease with the increasing of spinning distance and solution concentration; The error rate of nanofiber weight deposition is between 2.17% and 17.34% which indicated that the

nanofibers membrane is well made.

Electrohydrodynamics model is established based on Electrohydrodynamics theory. Then, the internal relationships between process parameters and the jets radius, jets velocity are studied. The results indicate that extending spinning time, increasing the amount of fluid, improving the spinning voltage or reducing spinning distance can improve fibers production. The model analysis results are in agreement with the experimental results.

This new method has the characteristics of high fibers production, good continuity, simple structure and convenient operation which can promote the industrial application of electrospinning technology.

Keywords: Screw Electrode; High-throughput Electrospinning; Multi-Jets Electrospinning; Nanofibers; Electrohydrodynamics

摘要.....	I
目 录.....	V
第一章 绪论	1
1.1 电纺纳米纤维的应用.....	1
1.2 批量制备纳米纤维方法研究现状.....	4
1.3 问题的提出.....	9
1.4 研究目标及主要研究内容.....	10
1.4.1 研究目标	10
1.4.2 主要研究内容.....	11
第二章 螺杆电极批量电纺平台开发	13
2.1 螺杆多射流批量静电纺丝平台结构设计.....	13
2.1.1 螺杆多射流静电纺丝喷射过程分析.....	13
2.1.2 螺杆电极表面电场分析与螺杆选择.....	14
2.1.3 纺丝平台储液滑块设计.....	16
2.2 螺杆电极多射流电纺平台控制模块开发.....	19
2.3 螺杆静电纺丝平台搭建与静电屏蔽设计.....	22
2.3.1 螺杆静电纺丝平台搭建.....	22
2.3.2 螺杆静电纺丝平台静电屏蔽设计.....	23
2.4 本章小结.....	23
第三章 螺杆静电纺丝多射流喷射行为实验研究	25
3.1 实验主要设备以及实验材料.....	25
3.1.1 实验设备	25
3.1.2 实验操作过程.....	26
3.2 射流喷射模式研究.....	27
3.2.1 螺杆电极射流摆动行为研究.....	27
3.2.2 螺杆转速对射流喷射的影响.....	29
3.2.3 多射流形成过程.....	30
3.3 工艺参数对多射流启动电压的影响.....	32

3.3.1 多射流启动电压与溶液浓度的关系.....	32
3.3.2 多射流启动电压与纺丝距离的关系.....	32
3.3.3 多射流启动电压与供液速度的关系.....	33
3.3.4 多射流启动电压与螺杆转速的关系.....	34
3.4 工艺参数对螺杆电极多射流电纺纤维直径的影响.....	36
3.4.1 溶液浓度对纤维直径的影响.....	36
3.4.2 纺丝电压对纤维直径的影响.....	39
3.4.3 纺丝距离对纤维直径的影响.....	42
3.4.4 供液速度对纤维直径的影响.....	44
3.4.5 螺杆转速对纤维直径的影响.....	47
3.5 纺丝纤维分布均匀性研究.....	49
3.6 本章小结.....	52
第四章 多射流纺丝喷射模型研究与纳米纤维产量分析.....	53
4.1 多射流喷射模型假设与模型建立.....	53
4.1.1 多射流喷射模型假设与射流电流分析.....	53
4.1.2 多射流电液耦合模型建立.....	54
4.2 提高纤维产量途径分析.....	58
4.3 螺杆电极静电纺丝纳米纤维产量研究.....	59
4.3.1 纳米纤维产量与纺丝距离的关系.....	59
4.3.2 纳米纤维产量与供液速度的关系.....	60
4.3.3 纳米纤维产量与纺丝电压的关系.....	60
4.3.4 纳米纤维产量与溶液浓度的关系.....	61
4.3.5 纳米纤维产量与螺杆转速的关系.....	62
4.4 本章小结.....	63
第五章 总结与展望.....	65
5.1 总结.....	65
5.2 展望.....	66
参考文献.....	67
攻读硕士学位期间取得的科研成果.....	71
致谢.....	72

Content

Abstract.....	I
Chaper 1 Introduction.....	1
1.1 Application of Electrospun Nanofibers.....	1
1.2 Development Status of Mass-spun Technology	4
1.3 Problem Introduction	9
1.4 Objectives and Reserch Works.....	10
1.4.1 Objectives	10
1.4.2 Reserch Works.....	11
Chapter 2 Build of Mass-spun Platform with Screw Electrode.....	13
2.1 Structure of Multi-Jets Electrospinning Platform with Screw Electrode.....	13
2.1.1 Analysis of Multi-jets Ejection Process.....	13
2.1.2 Analysis of Screw Tip Electric Field.....	14
2.1.3 Design of Liquid slider	16
2.2 Design of Control Module of Mass-spun Platform via Screw Electrode.....	19
2.3 Build of Screw Electrospinning Platform Along with Shield Design	22
2.3.1 Build of Screw Spinning Platform	22
2.3.2 Electrostatic Shielding Design.....	23
2.4 Summery	23
Chapter 3 Jets Mode and Experimental Study.....	25
3.1 Equipments and Materials	25
3.1.1 Equipments	25
3.1.2 Experimental Operation Process.....	26
3.2 Study on Jets Mode	27
3.2.1 Sstudy on Jets Oscillation.....	27
3.2.2 Effection of Screw Speed on Jets.....	29
3.2.3 Formation Process of Multi-Jets	30
3.3 Relationships between Process Parameters and Jets Starting Voltage.....	32
3.3.1 Relationships between Liquid Concentration and Jets Starting Voltage	32
3.3.2 Relationships between Spinning Distance and Jets Starting Voltage	32
3.3.3 Relationships between Liquid Supply and Jets Starting Voltage.....	33

3.3.4 Relationships between Screw Speed and Jets Starting Voltage	34
3.4 Effecton of Process Parameters on Fibers Diamter	36
3.4.1 Effecton of Solution Concentration on Fibers Diameter.....	36
3.4.2 Effecton of Apply Voltage on Fibers Diameter	39
3.4.3 Effecton of Spinning Distance on Fibers Diameter	42
3.4.4 Effecton of Liquid Supply on Fibers Diameter.....	44
3.4.5 Effecton of Screw Speed on Fibers Diameter	47
3.5 Study on Uniformity of Fiber Deposition.....	49
3.6 Summery	52
Chapter 4 Hydraulic Model and Analysis on Production of Fibers ..	53
4.1 Hypothesis and Establishment of Multi-Jets Model	53
4.1.1 Hypothesis of Model and Current Analysis of Multi-Jets.....	53
4.1.2 Establishment of Multi-Jets Hydraulic Model.....	54
4.2 Analysis of Methods to Increase Production Nanofiber	58
4.3 Relationships between Process Parameters and Fiber Production	59
4.4.1 Relationships between Spining Distance and Fibers Production	59
4.4.2 Relationships between Liquid Supply and Fiber Production	60
4.4.3 Relationships between Apply Voltage and Fibers Production.....	60
4.4.4 Relationships between Liquid Concentration and Fibers Production	61
4.4.5 Relationships between Screw Speed and Fibers Production.....	62
4.5 Summery	63
Chapter 5 Conclusions and Prospects	65
5.1 Conclusions	65
5.2 Prospects	66
Referance	67
Publishment	71
Acknowledgement	72

第一章 绪论

随着纤维科学与工程的应用和发展,研究人员和企业都意识到使纤维超细化将会是纤维科学与工程的一个重要发展方向。当纤维直径从微米级别缩小到纳米级别时,许多令人意想不到的新奇特质就会随之而生^[1-4]。Formhals^[5]提出的静电纺丝法,设备简单、操作方便、适用于多种聚合物材料,是目前连续制备纳米纤维的主要方法。图 1-1 为典型静电纺丝装置,主要包括注射泵、高压电源、喷丝头、收集装置等。其中注射泵用于供给纺丝溶液,保证纺丝过程溶液供应的连续性;高压电源用于连接喷丝头和收集装置,启动高压电源后,喷丝头和收集装置之间就会产生强电场;当电源电压不断增大时,喷丝头尖端处液滴所带的电荷量增大,电荷之间的排斥加强,液滴表面会产生波动和变形,聚合物会在喷丝头末端形成泰勒锥^[6-12];当电压增大到临界值时,液体就会克服表面张力在锥尖形成射流,射流经过拉伸、溶剂挥发和固化后,最后在收集装置上沉积得到纳米级别的固态纤维^[13-15]。

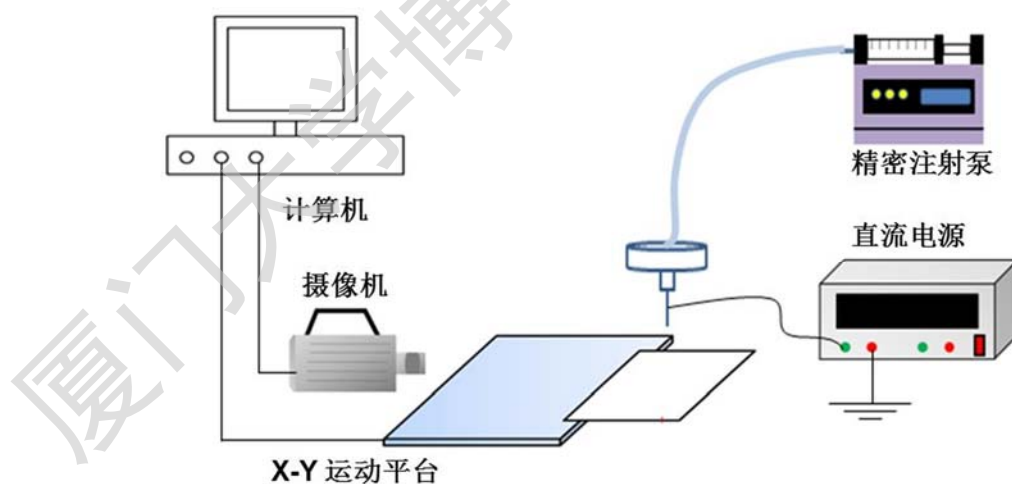


图 1-1 典型静电纺丝装置

1.1 电纺纳米纤维的应用

采用电纺技术制备的纳米纤维具有纤维直径小、比表面积大,因此呈现出十

分良好的吸附性能、优异的力学性能、光、电、热性能^[16]。此外，还具有孔隙率高以及独特的空间网状结构等特点，因而在过滤材料^[17]、生物科技^[18,19]、传感器^[20]、医疗卫生^[21,22]、组织工程、能量转换等各个方面都有着极其广阔的应用前景，拥有巨大的商业潜能。以下将对电纺纳米纤维的几个主要应用进行简单介绍。

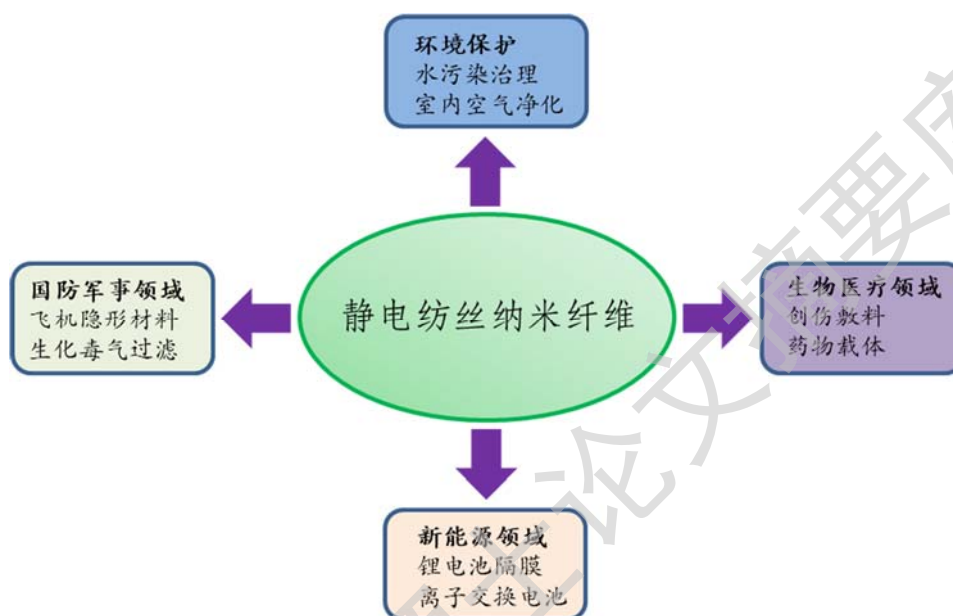


图 1-2 电纺纳米纤维应用领域

(1) 过滤材料

随着生物医疗、环境科学的发展，对过滤材料的要求也随之提高，特别是对过滤精度以及对微米甚至纳米级颗粒的过滤效率。孔隙率、比表面积、平均孔径是衡量过滤材料的重要指标，电纺纳米纤维膜具有高度多孔结构、渗透性强、纤维直径均匀性好、比表面积大、互连性强、吸附能力强，是过滤的理想材料^[23]。电纺纳米纤维在过滤领域显示出的优越性，近几年来也引起研究人员的广泛关注。Phillip^[24]等利用电纺纳米纤维膜对空气中 1-5 μm 大小的颗粒进行过滤，其过滤效率几乎达到 100%；Ramakrishna^[25]等利用电纺纳米纤维膜对污水中 3-10 μm 尺寸的微小颗粒进行过滤，其过滤效率也高达到 95%以上；Beatriz^[26]等利用 PET 作为原料，采用电纺技术制备出平均直径为 420nm 的纤维毡，通过测试，纤维毡的拉伸强度可达 2.7Mpa，将该纤维毡用于苹果果汁的过滤，其过滤速度比传统过滤方法快了数倍；Kim^[27]制备了 PC 纳米纤维膜，可用于过滤液体中的大肠杆菌等病菌，该种纤维膜对葡萄球菌的杀菌效率可达 99%以上，具有十分优异的抗

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.