

层次结构温度可梯变纳米纤维膜的设计与开发

赵磊^{1,2}, 张帅帅¹, 陈贵翠¹, 周红涛¹, 张圣忠¹, 祁宁²

(1.盐城工业职业技术学院, 江苏 盐城 224005; 2.苏州大学 现代丝绸国家工程实验室, 江苏 苏州 215123)

摘要: 通过模拟蚕茧的结构, 依靠新型静电纺丝技术, 采用合理的纺丝工艺设计, 在纳米纤维膜材料上赋予其特定的层次结构排列方式, 改变了纳米纤维膜内部纤维排列形态。研究表明: 相比无层次结构的纳米纤维膜, 纳米纤维膜材料的传热导性有一定改善, 传热系数明显降低, 保暖率有所提高。

关键词: 静电纺丝; 保暖性; 层次结构; 纳米纤维膜; 仿生

中图分类号: TQ340.64

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2018)12-0046-03

DOI: 10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2018.12.012

Design and development of ladder structure nanofiber membrane with hierarchical structure temperature

ZHAO Lei^{1,2}, ZHANG Shuaishuai¹, CHEN Guicui¹, ZHOU Hongtao¹, ZHANG Shengzhong¹, QI Ning²

(1.Yancheng Institute of Industry Technology, Yancheng 224005, China)

(2.National Engineering Laboratory for Modern Silk, Soochow University, Suzhou 215123, China)

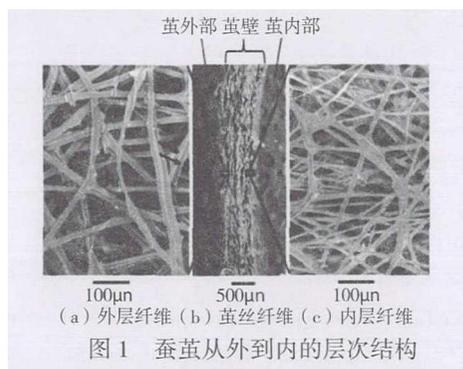
Abstract: By simulating the structure of silkworm pupa and relying on new electrospinning technology, adopting a reasonable spinning process design, the specific hierarchical structure arrangement on the nanofiber membrane material is given, which can change the internal fiber arrangement of the nanofiber membrane. The results show that compared with the non-hierarchical nanofiber membrane, the heat conductivity of the nanofiber membrane is improved. The heat transfer coefficient is significantly reduced and the heat retention rate is also improved.

Key words: electrostatic spinning; heat retention; hierarchical structure; nanofiber membrane; bionics

纺织服装材料的热学性能是评价纺织品舒适效果的重要指标, 其中决定热传导性能和透气性能的因素是纺织品的纤维结构及相互之间的排列方式。天然纤维的多尺度、多层次化内部结构使得很多纤维材料具有优良的热传导性能(保温性能)。研究纺织品的保温机理需要涉及多学科的知识, 特别是数学和物理学的运用。许多纺织科研人员通过大量的试验, 模拟开发出天然纤维材料结构, 从而设计出具有特殊功能的纺织品, 为现代纺织科学, 即纺织品的仿生设计提供一定的理论指导。

目前, 仿生技术已经为各行各业的科技产品开发提供了很多思路, 比较典型的有: 仿生蝙蝠接收外部信息的方式, 人们发明了雷达; 仿生蜻蜓飞行运动的方式, 人们发明了飞机机翼; 仿生蜘蛛纺丝的运动过程, 苏州大学何吉欢教授开发了可批量生产纳米纤维的气

泡静电纺工艺^[1-4]。这些天然机理与材料给了人们很多启示, 同样仿生技术也可以运用于纺织行业。蚕丝由蚕茧通过脱胶方式获得, 蚕茧的外层有数千层蚕丝缠绕, 且蚕茧有良好的透气性和保温效果。根据 B. Blossman-Myer 等人^[5-7]的研究发现: 蚕茧具有十分复杂而独特的多层次、多尺度结构, 如图 1 所示。纤维直径从外层到内层逐渐变小, 外层纤维直径约 26 μm, 内层纤维直径约 16 μm。



本文通过模拟蚕茧结构赋予纳米纤维膜材料特定的内部结构, 通过改变纤维的排列方式, 来改善纳米纤维膜材料的热传导性能。

1 纳米纤维纺丝设备

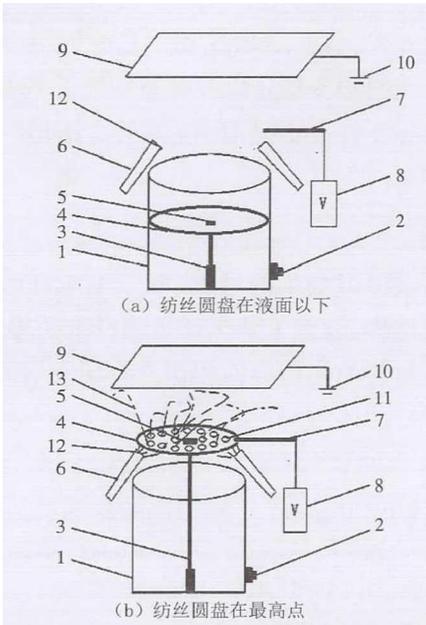
1.1 纺丝设备组成

新型静电纺丝设备结构图见图 2、3。

收稿日期: 2018-07-25

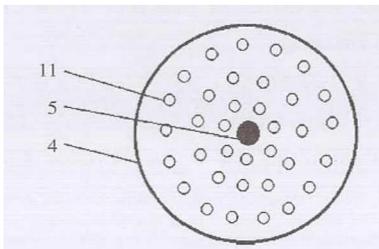
基金项目: 2015 年江苏省高校品牌专业建设工程资助项目 (PPZY2015C254); 2017 年江苏省高职院校教师专业带头人高端研修项目 (2017TDFX005); 2015 年江苏高校优秀科技创新团队计划资助项目 [苏教科 (2015) 4 号]; 2016 年盐城工业职业技术学院院级重点课题 (ygy1602); 2017 年江苏高校“青蓝工程”资助项目 [苏教师 (2017) 15 号]; 2017 年江苏高校境外研修计划资助项目

作者简介: 赵磊 (1984—), 男, 江苏泰兴人, 在读博士生, 讲师, 工程师, 主要从事纺织新材料的开发及新技术的研究。



1-储液桶;2-控制开关;3-升降连杆;4-纺丝圆盘;5-固定螺丝;6-喷气管;7-正极杆;8-静电发生器;9-接收器;10-地级;11-圆孔;12-喇叭口;13-纳米纤维

图2 新型静电纺丝设备结构图



4-纺丝圆盘;5-固定螺丝;11-圆孔
图3 纺丝圆盘结构图

新型静电纺丝设备包括:直径为10~12 cm的圆柱形纺丝液储液桶,在储液桶的底端中心处装有一个固定的可控制高度的升降连杆,升降连杆的上端与纺丝圆盘连接,纺丝圆盘的直径在10~11 cm,并用固定螺丝进行固装;纺丝圆盘上升到最高高度(距离储液桶上表面垂直距离为10~12 cm)时与静电发生器的正极杆相连,静电发生器的可控电压范围在10~15 kV,在纺丝液储存槽的4个方向(两两对称)各有一个直径为1~1.5 cm的喷气管,喷气管的气压可调范围在0~50 kg,并以45°的倾斜角度放置在纺丝圆盘最高高度的斜下方,喷气管喷口的边缘线与纺丝圆盘的边缘线刚好相切;在储液桶上端30 cm处有一个接收器并与地板相连。

升降杆的上升高度是一定的,但下降的高度可控,主要是为了配合储液桶内纺丝液的深度;纺丝圆盘上均匀分布多个圆孔,圆孔的直径可以从0.8 cm变化到1.2 cm,以适合不同性质的纺丝液,即尽可能地保障当

纺丝圆盘离开纺丝液后能在孔洞处形成薄膜;当纺丝圆盘上升到最高高度时与正极杆相连形成静电电压,电压在15 000 V以下便能满足纺丝要求;喷气管喷吹时间与纺丝圆盘上升到最高点的停留时间要一致,停留时间控制在10 s以内,在纺丝盘下降或上升的过程中喷气管的喷吹过程暂停。

1.2 纺丝技术特点

采用新型静电纺丝技术后,整个纺丝过程的一致性与均匀性较高,在一定程度上保留了针头纺丝的优点,与现有的静电纺丝技术相比,采用的高压电源较低,气流负压偏小,结构稳定性与安全系数较高。气泡静电纺丝技术在纺丝过程中需要严格控制气流大小以形成均匀的气泡,但在实际生产中,因受溶液性质的影响及流体作用,气泡大小无法做到很均匀,而本技术能够严格控制薄膜的厚度,也能在产量上有所突破。

2 层次纳米纤维结构材料的开发

2.1 纺丝溶液的配制

结合新开发的纺丝设备,将质量分数为12%的醋酸纤维素加入到二氯甲烷中,磁力搅拌8 h配制复合纺丝溶液,并用超声波振荡器振荡2 h,以保证醋酸纤维素在溶剂中充分溶解。

2.2 层次纳米纤维膜的制备

将上述配置好的纺丝液置于储液桶1内,使液面高度高于纺丝圆盘4,纺丝圆盘4上的圆孔11孔径为1 cm;启动控制开关2,纺丝圆盘4用固定螺丝5固定在升降连杆3上,在升降连杆3的带动下,浮出纺丝液面,纺丝液在圆孔11处形成均匀的薄膜;当纺丝圆盘4上升到离储液桶1上表面垂直距离12 cm时,纺丝圆盘4边缘接触正极杆7,此时喷气管6打开;调节喷气管6内的气压,喷气管6从纺丝圆盘4上喇叭口12的斜下方45°角吹出气流,使纺丝液薄膜拉伸破碎后形成无数个微细液滴;静电发生器8连通正极杆7后,接收器9接通地板10,正极杆7与接收器9之间形成一定的高压静电;设置静电电压,使微细液滴在静电与气流的双重作用下进一步拉伸成醋酸纤维素纳米纤维13,沉积一定时间后,在接收器9上聚集成层次结构的醋酸纤维素纳米纤维膜。为了仿生蚕茧层次结构,在纺丝时,保持其他工艺参数不变,改变纺丝气压和电压,进行纺丝试验。试验1#~4#的气压分别为1.8、1.7、1.6、1.5 MPa,电压分别为14、13、12、11 kV。每个试验均持续纺丝6 h。为了便于比较,试验1#和4#持

续纺丝 24 h。

2.3 层次结构纳米纤维膜的表面形态

各层次结构的纳米纤维膜微观结构见图 4, 图中的标尺均为 5 μm。

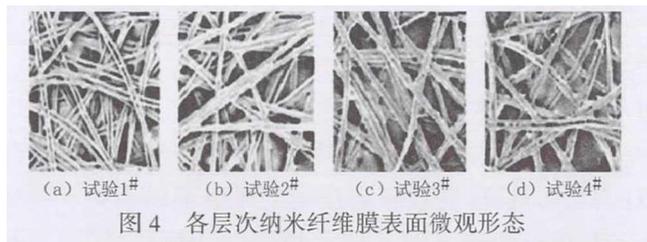


图 4 各层次纳米纤维膜表面微观形态

由图 4 可以看出, 纳米纤维的平均直径越来越大, 分别为 50、56、62、67 nm, 且纤维之间的松散性逐渐提高, 这就保留了纳米纤维膜内部的中空性。

2.4 层次结构纳米纤维膜保温性能测试^[8]

纳米纤维膜的保温性通过保温率来表征, 测试时先将上述制备好的纳米纤维膜在恒温恒湿条件下堆置 24 h, 参考标准为 GB T 11048—1989《纺织品保温性能试验方法》, 测试仪器为 YG(B)606D 型平板式保暖仪, 测试条件为标准大气压, 测试结果见表 1。试验 1# 和 4# 分别持续纺丝 24 h 获得的纳米纤维膜分别记为 M₁ 和 M₄, 层次结构纳米纤维膜记为 M_C, 即依次按照试验序号 1#~4# 各纺丝 6 h 获得的层次结构纳米纤维膜。

表 1 保温性能测试结果

| 项目 | 传热系数/[W·(m ² ·K) ⁻¹] | 保暖率/% |
|----------------|---|-------|
| M ₁ | 28.3 | 28.6 |
| M ₄ | 27.4 | 29.1 |
| M _C | 22.4 | 35.4 |

从表 1 可以看出, 层次结构纳米纤维膜的传热系数最小, 保暖率最高, M₁ 的纳米纤维膜的传热系数最大, 保暖率最低, M₄ 居于中间。试验结果说明: 层次结构的纳米纤维膜相比非层次结构的纳米纤维膜起到了

一定的保温效果, 仿生结果成功。其原因可以用层次结构内分形空间的质量守恒和能量守恒等基本定律来解释。温度梯变性并不显著, 说明层次结构的纳米纤维层热量不易损失。

3 结 语

本文通过模拟蚕茧的结构, 赋予纳米纤维膜材料特定的层次结构, 改变了纳米纤维膜纤维的排列方式。纳米纤维膜材料的热传导性相比没有层次结构的纳米纤维膜有一定的改善。



参考文献:

- [1] HE J H, KONG H, YANG R, et al. Review on fiber morphology obtained by bubble electrospinning and blown bubble spinning[J]. Thermal Science, 2012, 16(5): 1263-1279.
- [2] HE J H, LIU Y. Control of bubble size and bubble number in bubble electrospinning[J]. Computers and Mathematics with Applications, 2012, 64(18): 1033-1035.
- [3] ZHAO L, HE Y F, WANG Q W. Microstructure and property of regenerated silk fibron/chitosan nanofibers[J]. Thermal Science, 2016, 20(3): 979-983.
- [4] 孔海燕, 何吉欢. 气泡静电纺丝工艺与装置研究进展[J]. 纺织学报, 2014, 35(10): 156-162.
- [5] BLOSSMAN M, BURGGREN W W. The silk cocoon of the silkworm, bombyx mori: macro structure and its influence on transmural diffusion of oxygen and water vapor[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2010, 155(2): 259-263.
- [6] CHEN F, PORTER D, VOLLRATH F. Silk cocoon (bombyx mori): Multi-layer structure and mechanical properties[J]. Acta Biomaterialia, 2012, 8(7): 2620-2627.
- [7] JIANG P, LIU H F, WANG C H, et al. Tensile behavior and morphology of differently degummed silkworm (Bombyx mori) cocoon silk fibres[J]. Materials Letters, 2006, 60(7): 919-925.
- [8] 李群华, 丁盛. 相变纳米纤维/织物复合材料制备与保温性分析[J]. 上海纺织科技, 2015(4): 21-23.

上海中纺物产发展有限公司

竹纤维是以取自大自然的常青植物——竹子为原料生产的纤维, 是一种健康的、环保的纺织纤维, 广泛应用于棉纺、精纺、半精纺、粗纺、无纺布等各个纺织领域。云竹(SOFTBAMBOO)是上海中纺物产发展有限公司竹浆纤维的注册商标。经过多年来的研究、开发, 上海中纺物产发展有限公司已逐步拥有了具有自主知识产权的竹纤维产品, 产品通过了国际生态纺织品 Oeko-TEX Standard 100 的认证, 成为国内第一个获此认证的同类产品。经过几年来不断技术研发和市场推广, “云竹”已经成长为享有市场美誉的品牌, 而且“云竹”纤维也切实推动了家纺用品、针织面料、卫生用品、服装等新产品链的发展, 海外市场从过去单一的日本市场扩展到了美国、巴西、韩国等国。