

聚乙烯醇纳米纤维纱线的制备及其性能研究

张显华, 冯向伟, 魏世豪, 张琛琛, 周 蓉, 普丹丹, 齐瑞岭

(河南工程学院 纺织学院, 河南 郑州 450007)

摘要: 通过静电纺丝法制备了 PVA 纳米纤维, 采用边牵伸边加捻的方法制备了 PVA 纳米纤维纱线并测试其性能。研究表明: 当 PVA 质量分数在 6%~12% 时, PVA 纳米纤维的平均直径在 201.3~602.8 nm; 当 PVA 质量分数为 9% 时, PVA 纳米纤维的形貌最好, 纤维直径均匀, 表面光滑, 无黏结; 9% PVA 纳米纤维纱线的抱合状态良好, 平均细度为 27.38 tex。通过观察扫描电镜图可知: 当 PVA 质量分数为 2%~6% 时, 纳米纤维表面不光滑; PVA 质量分数为 8%~12% 时, 纺丝效果较好, 其中, 9% 的纺丝效果最佳, 纤维直径均匀, 表面光滑, 无黏结; PVA 质量分数增加到 14% 后, 无法顺利纺丝。相较于棉纱线, 9% PVA 纳米纤维纱线的伸长较高, 为 64.34 mm, 但是断裂强力和断裂强度没有棉纱线大。

关键词: 聚乙烯醇; 静电纺丝; 纳米纤维; 纱线; 拉伸试验; 微观形态; 制备; 性能研究

中图分类号: TQ340.64

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2018)05-0031-03

DOI:10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2018.05.009

Preparation and properties of PVA nanofiber yarns

ZHANG Xianhua, FENG Xiangwei, WEI Shihao, ZHANG Chenchen, ZHOU Rong, PU Dandan, QI Ruiling

(College of Textile, Henan University of Engineering, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: PVA nanofibers are fabricated by electrospinning and then PVA nanofiber yarns are prepared while tested their properties. The results show that the diameter of PVA nanofibers is from 201.3 to 602.8 nm when the concentration of PVA solution increases from 6 wt% to 12 wt%. The smooth and best morphology of PVA nanofibers are obtained when the concentration of PVA is 9 wt%. Based on the obtained 9 wt% PVA nanofibers, the cohesion is good and the average fineness is 27.38 tex. By scanning electron microscopy (SEM) images of PVA nanofiber yarns, when the PVA mass fraction is 2%~6%, the surface of the nanofibers is not smooth; when the PVA mass fraction is 8%~12%, the spinning effect is good. Of which the spinning effect is best at 9%, and the fiber diameter features uniform, smooth surface and no adhesion; when PVA mass fraction increases to 14%, it is not suitable for spinning. Compared with cotton yarns, the elongation of 9% PVA nanofiber yarns is relatively higher at 64.34 mm, but the breaking strength and breaking strength are not as large as those of cotton yarns.

Key words: polyvinyl alcohol; electrostatic spinning; nanofiber; yarns; tensile test; micro-morphology; preparation; performance study

聚乙烯醇(PVA)无毒,生物相容性良好,以水为溶剂容易制取纳米纤维^[1-2]。静电纺丝设备简单、操作便捷,被广泛应用于纳米纤维的制备。研究 PVA 纳米纤维的文献较多,主要有不同类型 PVA 的可纺性、纺丝工艺条件的选择^[3-4]以及制备 PVA 复合纤维材料^[5]等几个方面。

随着功能性纺织服装的发展,人们对纳米纤维的研究也日益深入^[6]。目前,纳米纺织品大多只是采用纳米功能材料对织物进行后整理^[7],或者采用纳米纤维包覆长丝或短纤维纱^[8],或在纺纱前添加纳米材料然后进行纺纱^[9-10],纯纳米纤维制成的纱线非常少见。本文使用静电纺丝法,以水为溶剂制备了 PVA 纳米纤维,研究了不同 PVA 溶液浓度对纳米纤维外貌、直径以及直径标准差的影响;再将 PVA 纳米纤维加工成纱

线并对其性能进行研究,以期拓宽 PVA 纳米纤维纱线的发展和应用提供一定的参考。

1 试验部分

1.1 试验材料

1797 型 PVA,醇解度 96.0%~98.0%;去离子水(H₂O)。

1.2 试验仪器

UX620H 型电子天平、DF-101S 型恒温加热磁力搅拌器、LSP01-1A 型注射泵、D-ES50PN-10W/DDPM 型电子高压发生器、101A-3E 型电热鼓风干燥箱、HDO21NS 型电子单纱强力仪。

1.3 PVA 纺丝液制备

称取一定量的 PVA 粉末(分别为 1、2、3、4、4.5、5、6、7 g)放入蓝盖瓶中,再加入一定量(分别为 49、48、47、46、45.5、45、44、43 g)的去离子水,在室温下静置,溶胀 1 h;然后在 95℃ 下恒温搅拌 4 h,直至 PVA 完全溶解,得到均匀透明无气泡的 PVA 溶液,质量分数分别为 2%、4%、6%、8%、9%、10%、12%;最后取出溶液在室温下静置 30 min,冷却,备用。

收稿日期: 2018-01-16

基金项目: 纺织新产品开发河南省工程实验室开放课题基金资助项目(GCSYS201607);河南省高等学校重点科研项目计划(17B540003);河南省科技攻关计划项目(172102210210);纺织服装产业河南省协同创新中心;河南工程学院博士基金项目(D2017005)

作者简介: 张显华(1982—),女,讲师,主要从事纳米新材料,纺织新产品的开发。

1.4 静电纺丝

用5 mL注射器从蓝盖瓶中吸取一定量的纺丝液,将注射器安装在连有高压发生装置正极的注射泵上,接收屏位于针头前方,调节纺丝距离为12 cm,高压电源电压15 kV,纺丝速度为0.35 mL/h,将纳米纤维接收到接收屏上。

1.5 PVA 纳米纤维表征

采用德国ZEISS Sigma 500型扫描电子显微镜在20℃的条件下观察PVA纳米纤维的形貌;用Image J软件测量SEM图片中的纤维直径,每张图片测量100根,并利用Excel软件计算纳米纤维的平均直径和直径标准差。

1.6 PVA 纳米纤维纱线的制备

采用传统的手工加捻法。在PVA质量分数为9%的纳米纤维条上剪取宽约5 cm,长约25 cm的纤维条,采用边加捻边牵伸的方式,制备50 cm以上的纳米纤维纱线。

1.7 PVA 纳米纤维纱线的拉伸性能表征

采用HDO21NS型电子单纱强力仪测试PVA的拉伸性能,采用定速拉伸的方式,预加张力为10 cN,夹持距离为500 mm,拉伸速度为500 mm/min。

2 结果与分析

2.1 PVA 纳米纤维电镜分析

PVA纳米纤维的SEM图见图1。

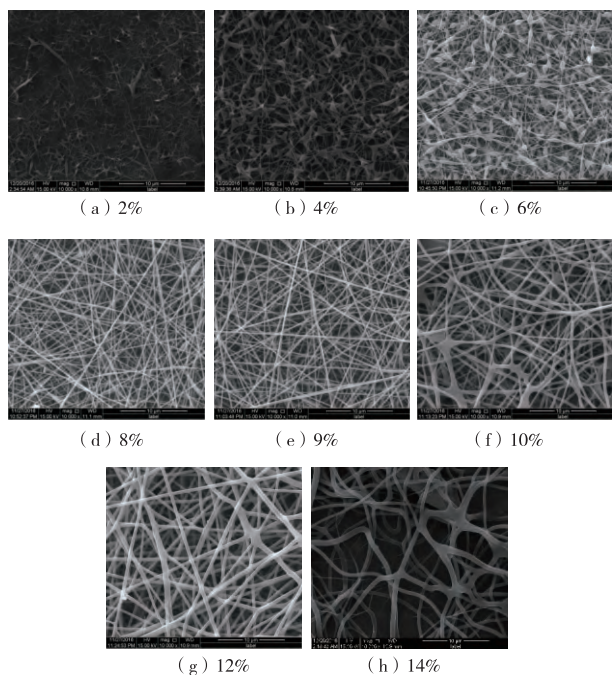


图1 不同质量分数的PVA纳米纤维SEM图

由图1(a)~(c)可以看出,在PVA质量分数为2%~6%时,不能获得表面光滑的纳米纤维;当PVA质量分数为2%~4%时,形成了三角形纤维;纺丝液质量分数为4%时,三角形的顶角部位更加光滑;当溶液质量分数为6%时,获得的是纺锤体纳米纤维,推测是PVA溶液质量分数低时,PVA溶液的粘度也较低,所以不能形成形态良好的纳米纤维。由图1(d)~(g)可以看出,在PVA质量分数为8%~12%时,获得了形貌良好的纳米纤维;当PVA的质量分数增加到8%时,纤维较细,且纤维上基本没有珠状体。从图1(e)可以看出,9% PVA的纤维之间没有黏结,纤维较细且直径均匀度较好,纤维表面光滑、均匀,成纤效果最佳。10%的PVA纳米纤维之间有少量黏结,12%的PVA纳米纤维也有部分粘连,纤维明显变粗。当PVA溶液质量分数增加到14%时,纺丝过程很不顺利,并且不能得到表面光滑的纤维,推测可能是由溶液粘度增加导致。综上所述,在PVA溶液质量分数小于6%时,不能形成纳米纤维;形成表面良好PVA纳米纤维的质量分数是8%~12%;当PVA质量分数超过14%时,纺丝过程不顺利,并且纺丝效果也较差。

2.2 不同浓度PVA纳米纤维直径分析

使用Image J软件测量SEM图中的纤维直径,所得结果见表1。

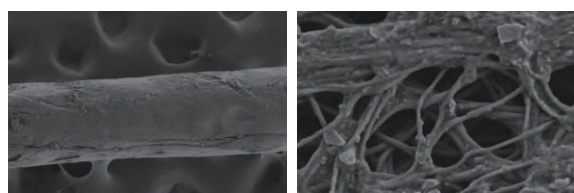
表1 纳米纤维的平均直径和直径标准差

| 项目 | 质量分数/% | | | |
|---------|--------|-------|-------|-------|
| | 8 | 9 | 10 | 12 |
| 平均直径/nm | 201.3 | 300.1 | 325.8 | 602.8 |
| 直径标准差 | 76.5 | 48.2 | 77.5 | 77.9 |

由表1可知,PVA的质量分数在8%~12%时,纳米纤维的直径随着PVA质量分数的增大而增大。当PVA质量分数为12%时,纳米纤维平均直径为602.8 nm,纤维偏粗。PVA质量分数从10%增加到12%时,纳米纤维的平均直径快速增加,PVA质量分数为8%~10%纤维的平均直径相对较小。从表1可以直观地看出,当PVA质量分数为9%时,纤维直径的标准差最小,而PVA质量分数为8%、10%、12%的纤维直径标准差几乎一致。直径标准差反应数据的离散程度,即直径标准差数值越小,说明纳米纤维细度越均匀,纤维直径差异越小。结合图1、表1,在本试验条件下,PVA质量分数为9%的纺丝溶液最适合纺制PVA纳米纤维。

2.3 PVA 纳米纤维纱线的外观形貌

PVA 质量分数为 9% 的纳米纤维纱线的扫描电镜图见图 2。由图 2(a) 可见,与普通短纤维纱相比,PVA 纳米纤维纱线表面没有毛羽。图 2(b) 显示,PVA 纳米纤维纱线内部存在明显的抱合,可以在一定程度上增加纱线的强力。



(a) 放大100倍 (b) 放大10 000倍
图 2 PVA 质量分数为 9% 的纳米纤维纱线 SEM 图

2.4 纱线细度的计算

表征纱线粗细的指标是纱线的细度,采用定长制,计算出 9% PVA 纳米纤维纱线的细度分别为 23.77、24.55、28.57、23.33、26.46、25.55、25.86、26.78、32.38、38.10 tex,平均值为 27.35 tex。

2.5 PVA 纳米纤维纱线的拉伸性能分析

试验采用 28 tex 的棉纱线与 90% PVA 纳米纤维纱线做拉伸性能对比,结果见表 2。

表 2 棉纱与 PVA 纳米纤维纱线拉伸性能对比

| 项目 | 断裂强力 /cN | 断裂伸长率 /% | 伸长 /mm | 断裂强度 /((cN·tex ⁻¹)) | 断裂功 /mJ | |
|-----------------|----------|----------|--------|---------------------------------|---------|-------|
| 1 [#] | PVA | 93 | 8.18 | 60.95 | 2.59 | 31.75 |
| | 棉纱 | 358 | 5.21 | 26.1 | 12.78 | 59.18 |
| 2 [#] | PVA | 109 | 9.95 | 60.80 | 2.47 | 37.68 |
| | 棉纱 | 391 | 5.42 | 27.15 | 13.96 | 65.84 |
| 3 [#] | PVA | 105 | 8.34 | 65.75 | 2.45 | 38.03 |
| | 棉纱 | 409 | 5.93 | 29.70 | 14.60 | 75.32 |
| 4 [#] | PVA | 95 | 13.01 | 65.10 | 2.32 | 35.50 |
| | 棉纱 | 389 | 6.17 | 30.9 | 13.89 | 71.93 |
| 5 [#] | PVA | 88 | 7.17 | 60.90 | 2.54 | 36.49 |
| | 棉纱 | 379 | 5.96 | 29.85 | 13.53 | 68.34 |
| 6 [#] | PVA | 117 | 8.89 | 64.95 | 2.7 | 36.11 |
| | 棉纱 | 369 | 5.84 | 29.25 | 13.17 | 65.28 |
| 7 [#] | PVA | 117 | 8.78 | 68.95 | 2.7 | 31.13 |
| | 棉纱 | 337 | 4.97 | 24.90 | 12.03 | 53.76 |
| 8 [#] | PVA | 88 | 10.34 | 60.75 | 2.31 | 31.83 |
| | 棉纱 | 323 | 5.48 | 27.45 | 11.53 | 55.38 |
| 9 [#] | PVA | 95 | 12.99 | 65.00 | 2.44 | 34.73 |
| | 棉纱 | 339 | 5.36 | 26.85 | 12.10 | 57.31 |
| 10 [#] | PVA | 100 | 14.03 | 70.20 | 2.62 | 40.09 |
| | 棉纱 | 386 | 5.69 | 28.50 | 13.78 | 67.41 |
| 平均值 | PVA | 100.07 | 10.17 | 64.34 | 2.51 | 35.33 |
| | 棉纱 | 368 | 5.6 | 28.06 | 13.13 | 63.97 |

从表 2 可看出 PVA 纳米纤维纱线与棉纱线的差异,PVA 纳米纤维纱线的断裂伸长率为 10.17%,伸长为 64.34mm,而棉纱线的断裂伸长率为 5.6%,伸长为 28.06 mm。说明 PVA 纳米纤维纱线的弹性好,不易发生脆断。但是,PVA 纳米纤维纱线的断裂强力及断裂强度都没有棉纱线大,这可能与手工加捻成纱有关系,尚需做进一步的试验来证明。

3 结 语

(1) 通过观察扫描电镜图可知:当 PVA 质量分数为 2%~6% 时,纳米纤维表面不光滑;PVA 质量分数为 8%~12% 时,纺丝效果较好,其中,9% 的纺丝效果最佳,纤维直径均匀,表面光滑,无黏结;PVA 质量分数增加到 14% 后,无法顺利纺丝。

(2) PVA 质量分数在 8%~12% 时,纳米纤维的直径随着 PVA 质量分数的增大而增大;当 PVA 质量分数为 9% 时,纤维直径较小,且直径的标准差最小,说明纤维细度较为均匀。因此,较优的 PVA 纺丝液质量分数为 9%。

(3) 相较于棉纱线,9% PVA 纳米纤维纱线的伸长较高,为 64.34 mm,但是断裂强力和断裂强度没有棉纱线大。

参考文献:

- [1] 杜江,李罡,蓝彩娟.聚乙烯醇纳米纤维的制备与静电纺丝工艺研究[J].中外医学研究,2014,12(8),149-151.
- [2] 刘瑞雪,刘太奇,操彬彬.PVA 纳米纤维的水稳定性与夹心净化材料的制备[J].高分子材料科学与工程,2014,28(4),152-155.
- [3] 何晓伟,张朝奎,刘红燕,等.PVA 纳米纤维膜的制备及微观形貌研究[J].中原工学院学报,2010,21(2):14-19.
- [4] 李杰.静电纺丝法制备聚乙烯醇纳米纤维[J].舰船防化,2009(4):6-11.
- [5] ROLI P,SUBHA S,PRIYADARSHAN S,et al.Flexible sericin/polyvinyl alcohol/clay blend films[J].Fibers and Polymers,2015,16(4):761-768.
- [6] 张野妹,李杰,潘志娟.静电纺制备纳米纤维纱方法的研究综述[J].丝绸,2011,48(9):19-23.
- [7] 卞学海.水基纳米磁流体的制备及其在电磁功能织物开发中的应用[D].上海:东华大学,2012.
- [8] 杨大祥,李恩重,郭伟玲,等.静电纺丝制备聚丙烯腈纳米纤维及包覆纱线研究[J].装甲兵工程学院学报,2011,25(3):78-81.
- [9] 戴丽琴.静电纺丝技术制备导电纳米纤维及其在高产梳棉机上的应用研究[D].武汉:武汉纺织大学,2015.
- [10] 郭元龙,陈志民,许群.静电纺丝法制备聚乙烯醇纳米纤维膜及其交联处理[J].合成纤维,2017(5):33-35.