



高分子材料科学与工程  
*Polymer Materials Science & Engineering*  
ISSN 1000-7555, CN 51-1293/O6

## 《高分子材料科学与工程》网络首发论文

题目: 动态线纺聚乙烯醇/海藻酸钠纳米纤维膜的制备  
作者: 许文婷, 李婷婷, 王静, 闫梦雪, 林佳弘, 楼静文  
DOI: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2020.0028  
收稿日期: 2018-11-13  
网络首发日期: 2020-02-29  
引用格式: 许文婷, 李婷婷, 王静, 闫梦雪, 林佳弘, 楼静文. 动态线纺聚乙烯醇/海藻酸钠纳米纤维膜的制备. 高分子材料科学与工程.  
<https://doi.org/10.16865/j.cnki.1000-7555.2020.0028>



**网络首发:** 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认:** 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

# 动态线纺聚乙烯醇/海藻酸钠纳米纤维膜的制备

许文婷<sup>1</sup>, 李婷婷<sup>1,2\*</sup>, 王静<sup>1</sup>, 闫梦雪<sup>1</sup>, 林佳弘<sup>1,3</sup>, 楼静文<sup>1,4</sup>

(1. 天津工业大学 纺织科学与工程学院智慧纺织与节能制品创新平台, 天津 300387; 2. 天津工业大学 教育部与天津市共建先进复合材料重点实验室, 天津 300387; 3. 台湾逢甲大学 纤维与复合材料学系, 台湾 台中 40724; 4. 亚洲大学 生物信息与医学工程学系, 台湾 台中 41354)

**摘要:** 为了实现静电纺纳米纤维产量化的制备, 使用自主设计的无针式动态线性电极静电纺丝机制备聚乙烯醇(PVA)/海藻酸钠(SA)(AP)纳米纤维膜。采用扫描电子显微镜(SEM)研究 PVA/SA 配比、收集距离和纺丝电压对纤维形貌及直径分布的影响。结果表明, PVA/SA 对比对纤维形貌影响最大, 随着 SA 含量降低, 溶液牵伸顺利; 在此基础上随着距离增加, 纤维形貌逐渐改善但不匀率有所增加。当 7.5%PVA 与 2%SA 按体积比 9:1 共混时, 所得纤维形貌及直径分布最佳, 最佳纺丝电压和距离分别为 75 kV 和 25cm, 纤维平均直径为(187±44) nm, 产量可达 2.5 g/h, 本研究可为 AP 纳米纤维膜的规模化制备提供参考。

**关键词:** 静电纺丝; 线性电极; 纤维形貌; 可纺性; 结构调控

静电纺丝技术因其简单有效、成本低廉、工艺可控且无污染等优点, 目前已成为连续制造纳米纤维最有效和直接的方法之一<sup>[1]</sup>。静电纺纳米纤维具有多孔性、高比表面积和优良的力学性能等特征, 被运用于各行业领域, 包括生物医学中人造纤维支架; 环境保护中的过滤材料、重金属吸附以及光电应用中的电池隔离膜、传感器等<sup>[2,3]</sup>。近年来, 组织工程的发展促进了静电纺在制备人造纳米纤维支架领域中的发展<sup>[4]</sup>。而新型线性电极静电纺丝技术可以将大多数聚合物都制备成功效各异的纳米纤维。用合适的材料制备而成的纳米纤维支架可作为有效取代自体移植神经的桥接物, 在引导和促进神经再生的过程中发挥有效的作用, 为提高神经缺损的修复和再生功效提供了新的思考和方式。海藻酸钠(SA)是一种从天然褐藻中提取的聚阴离子多糖(海藻酸)的钠盐, 由 $\beta$ -D 甘露糖醛酸酯(M 糖)和  $\alpha$ -L-古洛糖醛酸(G 糖)2 种结构单元连接而成, 具有突出的特点如无毒性、可生物降解性和生物相容性等, 已被广泛应用于周围神经组织的人造结构的开发<sup>[5,6]</sup>。然而 SA 水溶液黏度过大容易成膜, 难以电纺成纤维形态, 且海藻酸钠基支架材料往往显示出较高的降解速率并且缺乏满足生理负载的机械强度, 因此常与聚乙烯醇(PVA)等成纤性好的聚合物共混纺丝<sup>[7-9]</sup>, 使其具有较高的力学性能和较慢的降解性<sup>[10]</sup>。

目前静电纺丝法并没有被广泛应用于产业化, 是由于国内外针对纳米纤维的研究多是以传统的有针式静电纺丝为主, 生产速率常小于 0.3 g/h, 产量过慢, 不符合经济效益, 而采用多针头方法的针式静电纺, 在通入高压电场后容易发生静电干扰, 且针头易堵塞, 亦无法满足市场需求<sup>[11]</sup>。近年来, 无针静电纺丝的出现避免了针头堵塞的缺陷, 同时也提高了纺丝效率和纤维产量, 为静电纺丝产业化提供了新思路, 使产量化制备纳米静电纺丝成为可能。相较于针式静电纺丝, 无针式静电纺丝所引发的射流是一个自我组织的过程, 发生在一个自由液面, 在纺丝过程中难以控制。市面上无针静电纺丝的喷丝头有多种形式, 如圆盘式、气泡式、滚筒式、线圈式等, 相较而言, 滚筒式静电纺丝产量高, 而线性电极式静电纺丝纤维直径小<sup>[11-17]</sup>。为了能够尽可能地控制纺丝过程, 提高静电纺丝的产量, 本文使用实验室自主设计铜丝动态线性电极静电纺丝机<sup>[18]</sup>进行平面连续无针静电纺丝, 以产量化制备 PVA/SA(AP)纳米纤维膜, 并探讨 PVA/AP 配比、收集距离及纺丝电压等因素对纤维形貌及直径分布的影响。线性电极静电纺丝最具特色的改进, 是以金属线材(铜丝)作为纺丝电极, 不仅不会产生针头堵塞现象, 同时可以提高纺丝速率和产量。

doi:10.16865/j.cnki.1000-7555.2020.0028

收稿日期: 2018-11-13

**基金项目:** 福建省自然科学基金资助项目(2018J01504, 2018J01505); 天津市高等学校创新团队项目(TD13-5043); 天津市自然科学基金(18JCQNJC03400); 绿色染整福建省高校工程研究中心开放基金(2017001A, 2017001B, 2017002B)

**通讯联系人:** 李婷婷, 主要从事医用复合材料的结构设计及性能研究, E-mail: tingtingli@tjpu.edu.cn

# 1 实验部分

## 1.1 原料及仪器

聚乙烯醇(PVA): 分析纯, 长春化工有限公司, 相对分子质量 84000~89000; 海藻酸钠: 分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司, 纯度 90%; 纯铜丝: 直径 0.8 mm。

DF-101S 型号集热式恒温加热磁力搅拌器: 巩义市予华仪器有限责任公司; NDJ-8S 型数显黏度计: 上海邦西仪器科技有限公司; ST00M 型实验室多参数测定仪: 奥豪斯仪器有限公司; FA224 型电子天平: 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; YC-02 型高温鼓风干燥箱: 天津市通达实验电炉厂; TM3030 型扫描电子显微镜: 日本 Hitachi 公司。

## 1.2 PVA/SA 溶液配制

将 PVA 粉末加入到一定量的去离子水中, 使用磁力搅拌器在 90 °C 下磁力搅拌 2 h, 配制成 7.5% PVA 水溶液。称取海藻酸钠粉末加入到一定量的去离子水中, 常温下磁力搅拌 3 h, 配制成 2% SA 水溶液。然后将 PVA 溶液与 SA 溶液分别按照体积比 7:3、8:2、9:1 进行混合, 在 60 °C 下磁力搅拌 2 h, 静置脱泡后形成 PVA/SA 混合液。

## 1.3 线性电极静电纺纤维膜制备

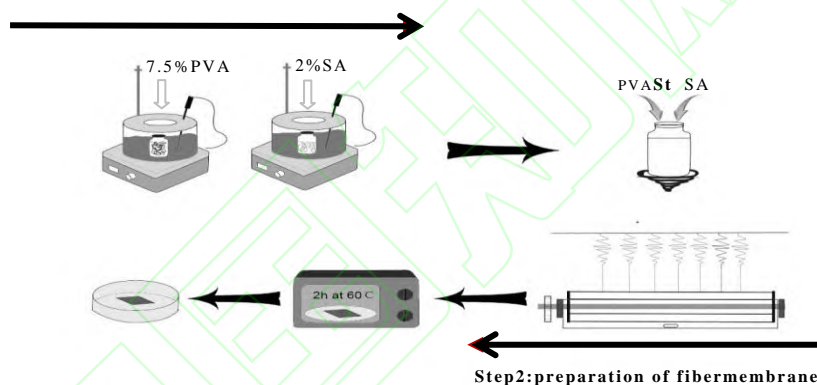


Fig.1 Preparation of linear electrospinning fiber membranes

使用自制的无针式动态线性电极静电纺丝机对不同配比的 PVA/SA 混合液分别采用不同收集距离(20 cm、25 cm、30 cm)和纺丝电压(70 kV、75 kV、80 kV)纺丝 1h, 制备成不同浓度的 AP 纳米纤维膜。将其放于 60 °C 干燥箱内干燥 2h, 以备后续纤维形貌观测和性能测试(如图 1 所示)。

线性电极静电纺丝装置如图 2 所示, 其原理是以 4 根 0.8 mm 的铜丝线材作为纺丝电极浸泡在通有高压电的溶液槽里, 纺丝过程中随着马达转动铜丝上可均匀附着液体, 附着在电极上的液体受到重力、表面张力、液体黏度和惯性的共同影响, 形态改变, 开始突出微小的半球形液滴; 由于表面张力的影响, 线性电极上的液体由两侧被排开而形成多个圆形的液滴, 但在重力的影响下液滴方向朝下, 导致线性电极上只有一层薄薄的液体; 当线性电极靠近收集板时, 静电力逐渐增强, 线性电极上的圆珠液体形成泰勒锥, 进而引发射流, 使带电的射流随后拉伸变细形成纤维, 溶剂挥发后无规则沉积在收集板上形成纤维网状的形态。

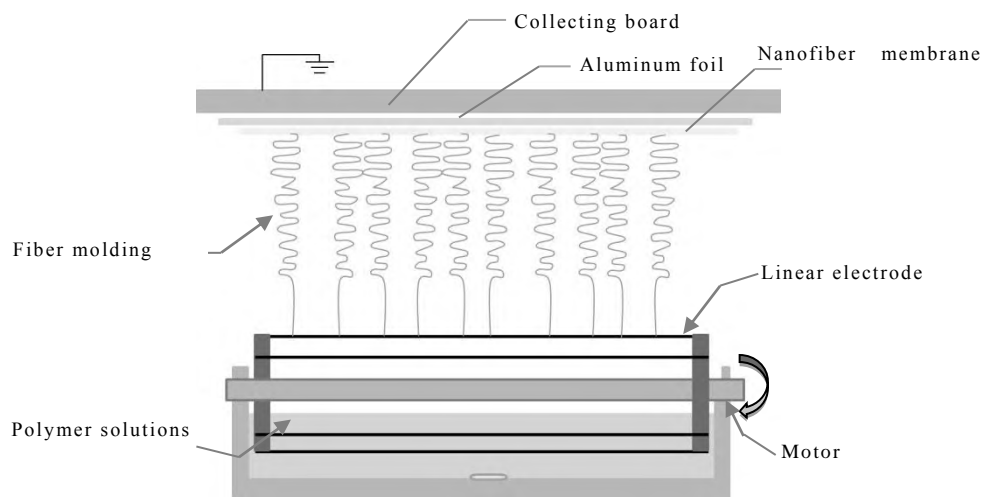


Fig.2 Schematic diagram of a linear electrospinning

## 1.4 测试与表征

**1.4.1 黏度测试：**采用 NDJ-8S 数显黏度计测试所制备的 PVA/SA 混合液的黏度，待搅拌后的溶液回温后，选择 2 号转子进行测试，转速为 60 r/min，由此观察 PVA/SA 不同对比对溶液黏度和电纺纤维形貌的影响。

**1.4.2 电导率测试：**采用 ST00M 型实验室多参数测定仪测量混合溶液的导电率。将搅拌好的溶液冷却至室温，将测试仪的探头浸没于待测溶液中，当显示器的数值没有大幅度变化时，读取数据即为测试溶液的电导率，由此观察不同体积比的 PVA 和 SA 混合液对溶液电导率的影响。

**1.4.3 SEM 观察：**利用 TM3030 型扫描电子显微镜观测制备的 AP 纤维膜表面形貌及直径分布。待纤维膜干燥后裁剪放至载物台上，镀金后观测纤维表面形貌，使用 Image-Pro Plus6.0 软件测量扫描电子显微镜获得的图像，每张图选取 100 根纤维来测量纤维的直径并使用 Origin 绘制直径分布图进行分析，并计算标准方差( $\sigma$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 PVA/SA 溶液性质

混合均匀的 PVA/SA 溶液的黏度和导电率，如 Tab.1 所示。从表中能够看出，随着 SA 含量的增加，溶液的黏度和导电率也逐步上升，这是由于 SA 水溶性比 PVA 小，水溶液黏性较高，随着 SA 含量的增加，混合液的黏度变大。此外 SA 是一种聚电解质，随着其含量的增加，溶液中带电离子增多，电导率增加较快<sup>[19]</sup>。

Tab.1 Viscosity and conductivity of PVA / SA solution with different proportions

$V(\text{PVA}): V(\text{SA})$	9:1	8:2	7:3
Viscosity/ (mPa · s)	331.0	350.0	384.5
Conductivity/ ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	865	1044	1273

### 2.2 纺丝距离和电压对纤维形貌的影响

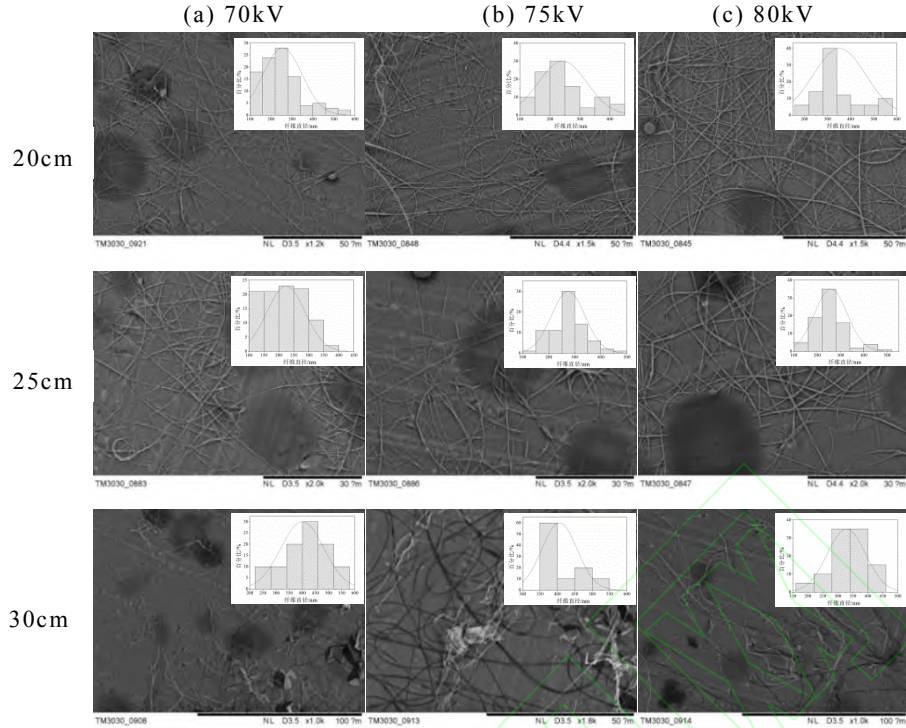


Fig.3 SEM images of the electrospinning fibers with the PVA/SA volume ratio of 7:3 (magnification of 3000  $\times$ ; spinning distance of 20 cm, 25 cm and 30 cm; spinning voltage of 70 kV, 75 kV and 80 kV)

Fig.3 所示为 PVA 与 SA 在体积比为 7:3 时,线纺纳米纤维的 SEM 图,从图中可以看出,收集距离为 30 cm 时,纤维呈杂乱状态,当收集距离拉近时,纤维均匀度有所改善,这是因为减小收集距离会使得电场中的静电引力增强,因此高分子溶液受到较强的静电力拉伸,使射流发生稳定的状态从而改善纤维均匀度。但是距离较近时,纤维表面会附着大液滴,这是因为收集距离较近时静电引力大纺丝时间短,溶剂挥发不完全所致<sup>[20]</sup>。加大电压液滴仍然存在,但纤维成纤性稍有改善,这说明电压对纤维的结构调控具有一定的影响。

Fig.4 所示为 PVA 与 SA 在体积比为 8:2 时线纺纳米纤维的 SEM 图,放大倍数为 3000,从左往右电压依次为 70 kV、75 kV、80 kV,从上至下收集距离依次为 20 cm、25 cm、30 cm。从图中可以看出,收集距离为 20 cm 和 25 cm 时,纤维分布较均匀,当距离增加到 30 cm 时,纤维上开始出现大串珠形貌,整体形貌较为杂乱。在收集距离较近(20 cm、25 cm)且电压为 70 kV 时,少量纤维出现纺锤形貌,随着电压升高,纺锤形貌减少乃至消失,这是因为电压的提高会增强静电力,使得沾附在铜丝上的溶液在高压电场中更容易克服表面张力,因此较容易引发射流使纤维快速成形,减少纺锤形貌产生。但当电压继续增加后,纤维上有液滴出现,这是由于电压过大,导致电场力过大,使得液滴拉伸速度加快,部分溶剂挥发不完全所致。

Fig.5 所示为 PVA 与 SA 在体积比为 9:1 时线纺纳米纤维的 SEM 图,放大倍数为 3000,从左往右电压依次为 70 kV、75 kV、80 kV,从上至下收集距离依次为 20 cm、25 cm、30 cm。如 Fig.3(a)所示,当收集距离为 20 cm 时,可明显看出纤维被大液滴覆盖,这是由于喷丝头与收集板距离较近。当距离增大到 25 cm 时,大液滴消失,但仍有少量串珠状形貌存在,当距离继续增加到 30 cm 时,纤维形貌良好,但仍有粗细不均现象存在且纤维直径相对较粗。在收集距离为 25 cm 时,纤维直径相对较细,但电压较低(70 kV)时,有串珠形貌纤维存在且纤维分布不匀,增大电压后,串珠形貌消失,纤维形貌良好,直径减小及均匀度变佳。这是由于当纺丝距离合适后,适当的增加电压即可增加电场力,使得高分子溶液在纺丝时,由电

场中的静电引力引发的射流拉伸顺利，可以形成较良好的纤维形貌。

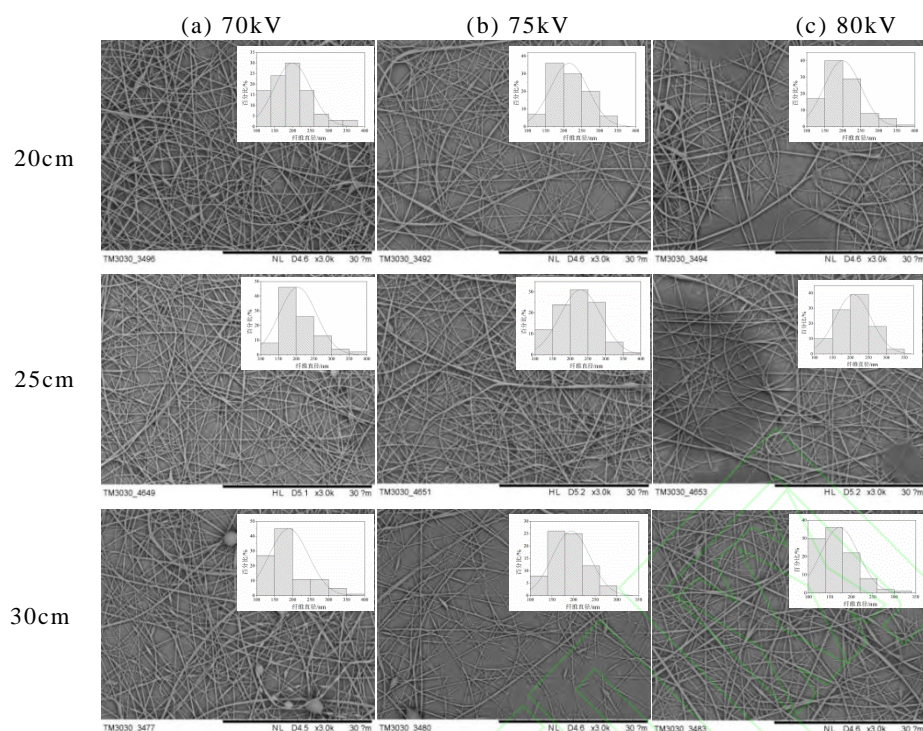


Fig.4 SEM images of the electrospinning fibers with the PVA/SA volume ratio of 8:2(magnification of 3000  $\times$ ; spinning distance of 20 cm, 25 cm and 30 cm; spinning voltage of 70 kV, 75 kV and 80 kV)

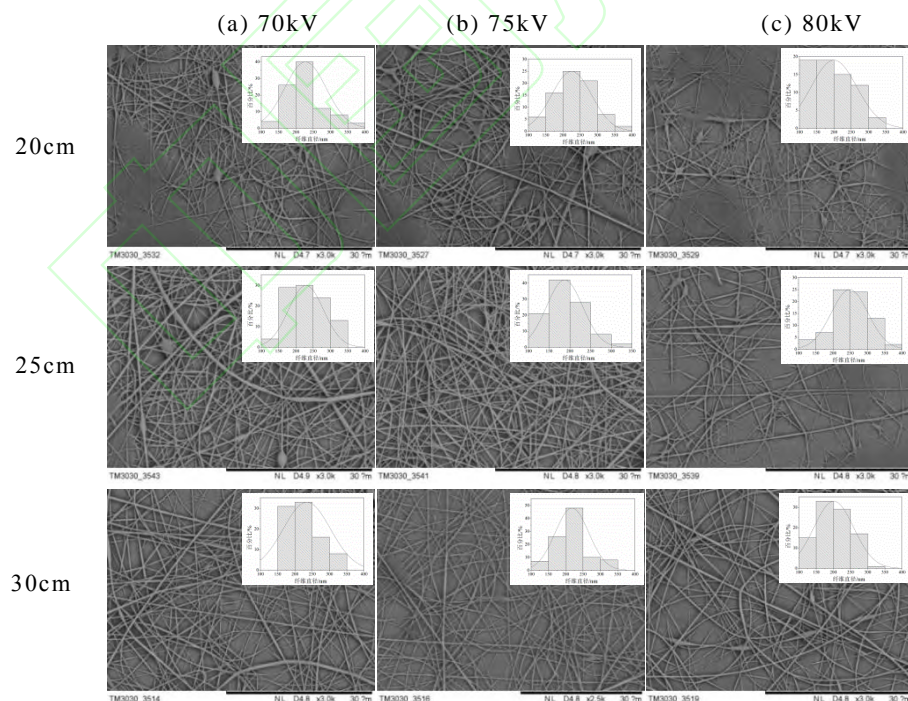


Fig.5 SEM images of the electrospinning fiber with the PVA/SA volume ratio of 9:1(magnification of 3000  $\times$ ; spinning distance of 20 cm, 25 cm and 30 cm; spinning voltage of 70 kV, 75 kV and 80 kV)

综上所述，在收集距离为 20 cm 的情况下，线性电极与收集板距离过近，导致溶剂挥发

不完全, 有液滴形貌出现, 纤维形貌不佳。从宏观和微观来看, 随着距离增加, 纤维形貌有较明显变化, 由于静电引力减弱, 液滴牵伸时间较长, 溶剂有较长时间可以挥发, 所以液滴形貌减少至消失。然而, 当距离过大时, 纺丝距离增加造成电场力较弱, 射流不稳定, 会导致纤维直径增大且不匀性增加。在一定距离下, 低电压时部分纤维会呈现出串珠状形貌, 适当增大电压可以改变静电引力, 使纤维拉伸顺利, 形成良好的形貌<sup>[21]</sup>。

### 2.3 PVA/SA 体积比对纤维形貌的影响

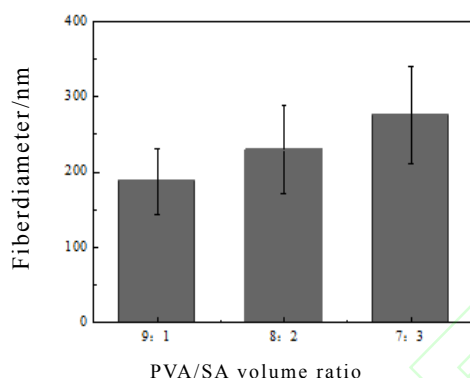


Fig. 6 Diameter of AP fibers with different volume ratios of PVA/SA  
spinning distance : 25 cm; spinning voltage: 75 kV

从 Fig.3 至 Fig.5 可以看出, 经 SEM 观察发现, 当 PVA 与 SA 体积比为 7:3 时, 所纺纤维膜形貌普遍较差, 随着 SA 含量的降低, 纤维的可纺性逐渐变好, 这证明溶液的黏度和导电率对纤维的可纺性起到重要作用。由 Fig.6 可知, 在纺丝距离和电压相同时, 随着 SA 含量的增加, 纤维直径逐渐增加且均匀性变差。当电压为 75 kV、距离为 25 cm 时, 体积比为 9:1、8:2、7:3 的 AP 纤维直径分别为 $(187\pm44)$  nm、 $(229\pm58)$  nm、 $(275\pm65)$  nm。这是由于随着 SA 含量的增加, 溶液导电率增加, 从而使得溶液所受电场力增加但相对黏滞阻力较微弱, 电场力克服阻力后拉伸纤维的力减少, 纤维不易拉伸导致纤维较粗; 此外由于溶液黏度增加, 线性电极上的结点所沾附到的液体经重力作用的影响后, 电极上的球体大小不一, 造成纺丝的纳米纤维粗细不均<sup>[22]</sup>, 使溶液的表面张力减少, 纤维直径变粗。

## 3 结论

研究使用铜丝动态线性电极静电纺丝机制备出 AP 纳米纤维膜, 探讨了 PVA/SA 配比、收集距离、纺丝电压对纤维形貌的影响, 得出以下结论:

(1) 对于动态线性电极静电纺丝来说, 溶液的浓度是影响静电纺丝的主要因素。随着 SA 含量的增大, 溶液黏度增加, 纤维直径增大且不匀性有所改善。对比相同电压相同距离、相同电极电压下的 AP 纤维直径, 发现 PVA 与 SA 体积比为 9:1 时纤维形貌最佳, 并且纤维直径最细且均匀度较佳。

(2) 当使用相同浓度的溶液进行线性电纺时, 收集距离对纤维形貌和直径分布的影响较为显著。距离过近容易导致溶剂挥发不完全, 从而产生液滴; 距离过远容易导致静电力较弱, 纤维拉伸杂乱, 因此选择合适的收集距离对于制备形貌良好、直径分布均匀的纳米纤维至关重要。同时, 在电纺的过程中, 收集距离的增加可以减少液滴, 改善纺锤状的纤维形貌, 但距离增加的同时电场力减弱, 会导致纤维直径和不匀率提升。研究结论表明, PVA 与 SA 体积比为 9:1、收集距离为 25 cm 时, 可以得到形貌良好且直径较细的纤维。

(3) 要合理控制电压的大小, 电压过小时, 线性静电纺丝得到的纤维会出现串珠状形貌、纺锤状形貌, 且纤维直径分布不均匀, 差异较大, 不利于纤维成形; 电压过大时, 表面会覆盖有大液滴, 且静电纺丝收集到的纤维较少, 纤维直径分布亦不均匀, 同样不利于纤维成形。

但适量电压的增加可以增加静电引力, 促使纤维射流顺利拉伸, 适当改善纤维形貌。研究结论表明, 体积比为 9:1 的 PVA 与 SA 混合液收集距离为 25 cm 时, 在 75 kV 电压下纤维形貌最佳。

综上所述, 使用线性电纺通过调节 PVA 和 SA 的比例和电压距离等参数可以制备具有均匀结构和孔径的 AP 纳米纤维, PVA: SA 体积比为 9:1、收集距离为 25 cm、电压为 75 kV 时, 所得纤维形貌最佳, 并且纤维平均直径为 $(187\pm44)$  nm, 产量可达 2.5 g/h, 研究可为 AP 纳米纤维膜的产量化制备提供基础。

## 参考文献:

- [1] Bhardwaj N, Kundu S C. Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique[J]. *Biotechnol. Adv.*, 2010, 28: 325-347.
- [2] Jia L, Zhang H X, Wang X X. Research and development of aligned nanofibers prepared by electrospinning[J]. *J. Text. Res.*, 2016, 37: 159-166.
- [3] 刘力菲, 李伟, 黄潇楠. 静电纺丝纳米纤维的制备与应用[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2017 (1): 58-63.  
Liu L F, Li W, Huang X N. Preparation and application of electrospinning nanofibers [J]. *Journal of Capital normal University: Natural Science Edition*, 2017 (1): 58-63.
- [4] Nectow A R, Marra K G, Kaplan D L. Biomaterials for the development of peripheral nerve guidance conduits[J]. *Tissue Eng., B*, 2012, 18:40.
- [5] 闻燕, 姚芳莲. pH 值对羧甲基壳聚糖/海藻酸钠水凝胶溶胀行为的影响[C]. 天津: 天津大学 2010 年博士生论坛化工分论坛, 2010.
- [6] Yang J M, Yang J H, Tsou S C, et al. Cell proliferation on PVA/sodium alginate and PVA/poly( $\gamma$ -glutamic acid) electrospun fiber[J]. *Mater. Sci. Eng., C*, 2016, 66:170.
- [7] Min S K, Kim G H. Three-dimensional electrospun polycaprolactone (PCL)/alginate hybrid composite scaffolds[J]. *Carbohydr. Polym.*, 2014, 114:213-221.
- [8] Yang J M, Yang J H, Tsou S C, et al. Cell proliferation on PVA/sodium alginate and PVA/poly( $\gamma$ -glutamic acid) electrospun fiber[J]. *Mater. Sci. Eng., C*, 2016, 66:170.
- [9] 雷红娜, 王迎, 李金环. 聚乙烯醇/海藻酸钠共混液的静电纺丝[J]. 上海纺织科技, 2018, 46(2): 22-24.  
Lei H N, Wang Y, Li J H. Electrospinning of PVA/sodium alginate acid blend[J]. *Shanghai Textile Science & Technology*, 2018, 46(2): 22-24.
- [10] Kim M S, Kim G. Three-dimensional electrospun polycaprolactone (PCL)/ alginate hybrid composite scaffolds[J]. *Carbohydr. Polym.*, 2014, 114:213-221.
- [11] Yian L, Li J, Pan Z. Research status of multi-jet electrospinning technology[J]. *J. Text. Res.*, 2013, 34: 150-156.
- [12] 王策, 卢晓峰. 有机纳米功能材料: 高压静电纺丝技术与纳米纤维[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [13] 王飞龙. 高效无针静电纺丝研究进展[J]. 纺织导报, 2014 (1): 66-69.  
Wang F L. Research progress of efficient needleless electrospinning[J]. *China Textile Leader*, 2014(1): 64-67.
- [14] Jiang G, Zhang S, Qin X. High throughput of quality nanofibers via one stepped pyramid-shaped spinneret [J]. *Mater. Lett.*, 2013, 106: 56-58.
- [15] Cengiz-Çallıoğlu F, Jirsak O, Dayik M. Investigation into the relationships between independent and dependent parameters in roller electrospinning of polyurethane [J]. *Text. Res. J.*, 2013, 83: 718-729.
- [16] Wang X, Hu X, Qiu X, et al. An improved tip-less electrospinning with strip-distributed solution delivery for massive production of uniform polymer nanofibers[J]. *Mater. Lett.*, 2013, 99: 21-23.

- [17] Forward K M, Rutledge G C. Free surface electrospinning from a wire electrode[J]. Chem. Eng. J., 2012, 183: 492-503.
- [18] 林佳弘, 楼静文, 江昆键. 静电纺丝组: 中国, 201520804515.7[P]. 2016-04-13.
- [19] Lu J W, Zhu Y L, Guo Z X, et al. Electrospinning of sodium alginate with poly(ethylene oxide)[J]. Polymer, 2009, 47:8026-8031.
- [20] Pan Y J, Lin J H, Chiang K C. Biomedical applications of antibacterial nanofiber mats made of electrospinning with wire electrodes[J]. Appl. Sci., 2016, 6: 46.
- [21] Hsieh C T, Lou C W, Pan Y J, et al. Fabrication of poly (vinyl alcohol) nanofibers by wire electrode-incorporated electrospinning[J]. Fibers Polym., 2016, 17: 1217-1226.
- [22] Hsieh C T, Lou C W, Pan Y J, et al. Fabrication of poly (vinyl alcohol) nanofibers by wire electrode-incorporated electrospinning[J]. Fibers Polym., 2016, 17: 1217-1226.

## Preparation of Dynamic Linear Spinning Polyvinyl Alcohol/Alginate

### Nanofiber Membranes

Wenting Xu <sup>1</sup>, Tingting Li <sup>1,2\*</sup>, Jing Wang <sup>1</sup>, Mengxue Yan <sup>1</sup>, Jiahong Lin <sup>1, 3</sup>, Chingwen Lou <sup>1,4</sup>,  
 (1. Innovation Platform of Intelligent and Energy-Saving Textiles, School of Textile Science and Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. Tianjin and Ministry of Education Key Laboratory of Advanced Textile Composite Materials, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 3. Department of Fiber and Composite Materials, Feng Chia University, Taichung 40724, China; 4. Department of Bioinformatics and Medical Engineering, Asia University, Taichung 41354, China)

**ABSTRACT:** For realizing high production of electro-spun nanofibers, polyvinyl alcohol (PVA)/Sodium alginate (SA)(AP) nanofiber membranes were prepared by a self-designed needleless dynamic linear electrode electrospinning machine. The influences of PVA/SA ratio, distance and spinning voltage on the morphology and diameter distribution of fibers were studied by scanning electron microscopy (SEM). The results show the ratio of PVA/SA has the greatest influence on the morphology of spun fibers. With the decrease of SA content, the solution drafting was smooth. On this basis, as the distance increases, the fiber morphology is gradually improved, and the unevenness rate is increased. When 7.5% PVA and 2% SA are blended by the volume ratio of 9:1, the fiber morphology and diameter distribution are optimal. The optimum spinning voltage and distance are 75 kV and 25 cm, respectively. The average fiber diameter is (187±44) nm and the yield can reach 2.5 g/h. This study provides a reference for the large-scale preparation of AP nanofiber membranes.

**Keywords:** electrospinning; linear electrode; fiber morphology; spinnability; structure control