

聚吡咯包缠纱应变传感器的制备及性能

聂文琪^{1,2}, 许 帅¹, 孙江东¹, 储长流¹, 徐珍珍^{1*}

(1. 安徽工程大学 纺织服装学院, 芜湖 241000;

2. 青岛大学 省部共建生物多糖纤维成形与生态纺织国家重点实验室, 青岛 266071)

摘要:以氨纶纱为芯纱,以聚吡咯复合镀银锦纶长丝为包缠纱,采用纺织包缠的方式制备单包/双包两种纱线状应变传感器,并对其外观形貌和电学性能进行表征,探究纱线传感器应变传感性能与包缠方式及氨纶芯纱预拉伸之间的关系问题。结果表明:聚吡咯涂层镀银包缠纱应变传感器具有良好的传感性能,电阻变化率可达 17%;高伸缩性,其伸长率可达 50%;双包缠纱电阻较单包缠电阻降低 49.7%,但单包缠纱灵敏度更高;芯纱氨纶预牵伸可以调节单包缠模式下的柔性应变传感器的电阻,但对纱线传感器的灵敏度影响较小。

关键词:聚吡咯; 应变传感; 包缠; 氨纶; 灵敏度

应变传感器由于其可拉伸、轻薄、灵敏等特点在心率监测、运动健康等领域^[1~4]受到广泛关注,是目前运用最多的传感器之一。其工作原理是力敏单元/材料在外力作用下发生形变导致电学特性的改变。通过建立外加张力与电阻变化的关系,实现力信号向电信号的转变。柔性应变传感器是在纺织品基础上,通过化学作用或结构设计等方式制备而成,在具备高效灵敏传感性能的同时,保留了纺织品的柔软、可拉伸等特点,具有广阔的应用市场^[5~7]。

现阶段,柔性应变传感器的研究主要关注于材料选择和结构设计,如采用碳纤维、碳纳米管、石墨烯等纳米材料提高应变传感器的灵敏度和稳定性,设计包括薄膜、纤维、纳米纤维膜、纱线、泡沫和织物的均匀混合或有序结构^[8~10]。Giffney 等^[11]采用 3D 打印制备碳纳米管/硅聚合物纳米复合材料,实现嵌入压阻式应变传感器的制备。该传感器最大形变量可达 300%,最大滞后为 11%,具有较高的拉伸回复性。与碳纳米管相比,石墨烯复合材料具有更大的压电变化范围和稳定性,Lin^[12]制备了一种基于二元橡胶/石墨烯共混的高可拉伸、高灵敏度应变传感器。由于石墨烯与橡胶构成互网络结构,导致其不仅具有橡胶的高弹性而且兼具了石墨烯的高导电性,故该传感器实现了高拉伸性(应变可达 100%)和循环稳定性(循环测试 300 次性能稳定)。

通过碳纳米复合材料选择构筑柔性应变传感器虽能有效提高器件传感精度,大幅提高器件可拉伸能力,但材料的高成本和复杂加工工艺也成为限制柔性传感器应用的阻碍。此外片状或层状柔性应变传感器与纺织品融合度差,难以与纺织品形成一体,导致其在可穿戴纺织品传感运用中精度及稳定性下降^[13~15]。Zhang 等^[16]设计了一种以超细石墨片为皮层,蚕丝纤维为芯层的皮芯的柔性应变传感器,具备柔韧性、高产量和低成本的优点,同时在应变 15% 范围内具备高灵敏度。这种纤维状的传感器不仅具有一定的应变传感特性,而且可作为纺织纤维织入或穿入纺织品中实现与纺织品的一体化结合,确保其输出特性稳定。分析现有研究成果,发现其制造工艺较为复杂,初步估算其制备成本,如表 1 所示。虽然现阶段纤维/纱线传感器已有较多报道,但实现连续化生产且成本较低的纤维/纱线传感器的制备仍具有一定的挑战。

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.12.011

收稿:2021-11-19;修回:2022-03-07;

基金项目:省部共建生物多糖纤维成形与生态纺织国家重点实验室(青岛大学)开放课题资助项目(KF2020210),安徽省自然科学基金(2008085QE213),安徽工程大学开放课题(Xjky2020038),安徽省纺织工程技术研究中心、安徽省高等学校纺织面料重点实验室开放基金(2021AETKL06);

作者简介:聂文琪(1990-),男,讲师。E-mail:wenqinie@163.com;

* **通讯联系人:**徐珍珍,女,教授,研究方向纺织复合材料及柔性储能器件。E-mail: xuzhenzhen@ahpu.edu.cn.

表 1 几种纱线应变传感器成本估算

Table 1 Cost estimation of several yarn strain sensors

材料	方法	成本(元/米)	文献
多壁碳纳米管/硅胶	印刷	30	[11]
石墨烯/橡胶	热压缩	96	[12]
石墨片/蚕丝	迈耶棒涂料	20	[16]

基于此,本文制备采用一种简单的纺织包缠方法以氨纶纱为芯丝以聚吡咯聚合镀银长丝为外包纱制备一种纱线状柔性应变传感器,相比较于已报道的纤维/纱线传感器,这种传感器更能实现大规模连续化生产且制备成本较低。实验测试结果表明该纱线应变传感器具有较大的应变伸长率和较高的灵敏度。此外,本文通过改变包覆结构,明确不同包覆结构及芯纱预拉伸对纱线传感特性的影响。因此,本文为柔性应变传感器提供一种成本低廉、流程简单的制备方法。

1 实验部分

1.1 实验材料

实验设备:超声波清洗器、纱线加捻仪、LinMot 直线电动机(S01-24/500)、Keithley 数字万用表(DAQ6510,吉时利)、扫描电子显微镜(日立 S4800)、万能试验机(INSTRON)。

实验材料:吡咯(Pyrrole,分析纯)、蒽醌-2-磺酸钠盐(AQSA,97%)、无水乙醇(分析纯),三氯化铁(FeCl_3 ,分析纯)、镀银锦纶(70D/24F)、氨纶(720D 单丝)。

1.2 应变传感器的制备

1.2.1 聚吡咯/镀银锦纶纱的制备 聚吡咯/镀银锦纶纱的制备如图 1(a)所示,具体步骤为:取长度为 60 cm 的镀银锦纶纱线,用去离子水和乙醇多次洗涤、烘干,得到较为纯净的柔性纤维基体。配置 0.1 mol/L 吡咯(Py)溶液 20 mL,按照 0.01 mol/L 配比加入掺杂剂蒽醌-2-磺酸钠盐(AQSA),超声 0.5 h 形成淡黄色均匀溶液,将处理好的纱线完全浸入该溶液中,0 ℃冰浴下放置 2h 浸渍,使纱线在 Py 溶液中完全浸润。配置 0.15 mol/L 的 FeCl_3 溶液 20 mL,用于引发吡咯的聚合。用滴定管将 FeCl_3 溶液逐滴加入到吡咯溶液里,保持反应温度为 0 ℃,静置 2 h。反应结束后取出,用去离子水清洗纱线,去除结合牢度较低的聚吡咯,清洗至去离子水中无黑色颗粒物质,烘干即获得聚吡咯/镀银锦纶纱试样。

1.2.2 单包缠/双包缠应变传感器的制备 单包缠纱应变传感器制备流程如图 1(b)所示:取 10 cm 长氨纶纱固定在加捻仪两端,作为芯纱,氨纶纱无伸长变形保持初始状态,选取已制备的聚吡咯/镀银锦纶纱作为包缠纱,包缠方向为 Z 捻,捻距 0.5 cm,制备试样标记为 S-1-Sensor;再取同样氨纶纱,预拉伸伸长 100%后固定在加捻仪两端,取聚吡咯/镀银锦纶纱作为包缠纱,方向 Z 捻,捻距 0.5 cm,制备试样标记为 S-2-Sensor。

双包缠纱应变传感器制备流程如图 1(c)所示:以上述制备的单包缠试样为基础纱,将 S-1-Sensor 固定在加捻仪两端,另取一根聚吡咯/镀银锦纶纱包缠,方向 S 捻,捻距 0.5 cm,试样标记为 D-1-Sensor;取 S-2-Sensor 两端固定在加捻仪上,另取一根聚吡咯/镀银锦纶纱包缠,方向 S 捻,捻距 0.2 cm,试样标记为 D-2-Sensor。

1.3 性能测试与表征

采用 S-4800 型扫描电子显微镜(SEM)对聚吡咯/镀银锦纶纱微观形貌进行表征。利用 YG020 型电子强力机,对镀银锦纶纱线和聚吡咯涂层镀银锦纶纱线进行力学性能测试。利用 Victor VC9808 型万用表测试静态拉伸时电阻。采用 LinMot 直线运动测试系统 S01-24/500 控制应变传感器的匀速拉伸,并结合 Keithley DAQ6510 测试记录电阻实时变化曲线。应变/电阻测试方法:取 5 cm 柔性应变传感器,以 2 mm/s 速度匀速拉伸,电阻变化采样频率为 250 ms/次。传感器灵敏度测试方法:拉伸往复速度均保持

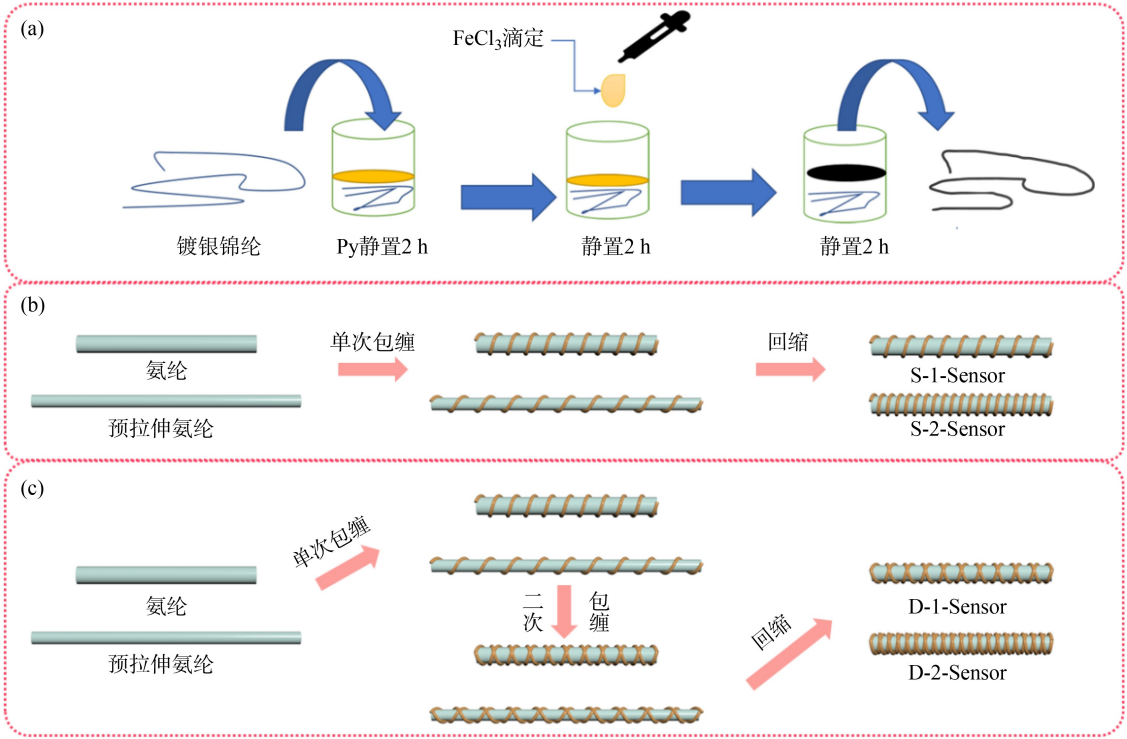


图 1 (a)聚吡咯/镀银锦纶纱制备;(b)单包缠应变传感器的制备;(c)双包缠应变传感器的制备

Figure 1 (a) Preparation of polypyrrole/silver-plated nylon yarn;(b) Preparation of single-wrap strain sensors;
(c)Preparation of double-wrap strain sensors

0.5 mm/s,设置纱线传感器最大拉伸应变为 50%,依次记录 40%、30%、20%和 10%应变伸长时电阻值^[17]。灵敏度计算公式见式(1):

$$GF = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta L / L_0}$$

(1)

式中:GF 是应变灵敏系数,ΔR 是电阻变化值,R₀ 是初始电阻,ΔL 是传感器长度变化值,L₀ 是传感器初始长度。

2 结果与讨论

2.1 聚吡咯/镀银锦纶纱的性能

对聚吡咯/镀银锦纶纱进行性能表征,通过表观形貌、力学性能测试、电学性能测试方法对其进行评价。

2.1.1 聚吡咯/镀银锦纶纱的表观形貌 利用化学聚合的方法将导电高分子 PPy 负载在镀银锦纶纱线上,其表观形貌如图 2 所示。原镀银锦纶长丝纱线表面光滑,银层较为致密且涂覆均匀,导电通路完整,电子传递稳定;聚合 PPy 后,纱线表面被团聚颗粒形成的膜状结构包裹,说明 PPy 成功实现纱线表面附着,微观形貌可以看出,该 PPy 负载在长丝表面较为均匀。该膜状及小分子颗粒状 PPy 为后续制备的包缠结构纱线柔性应变传感器提供稳定的电子导通路径^[18]。

2.1.2 聚吡咯/镀银锦纶纱的力学性能 利用 YG020 型电子强力机,以 500 mm/min 的拉伸速度、加持长度为 260 mm、定力为 10 cN 的试验条件对镀银锦纶纱线和聚吡咯涂层镀银锦纶纱线进行拉伸实验,测得其结果如表 2 所示。

由表格数据可知,镀银锦纶纱线经过化学聚合吡咯后,其断裂强力有所下降,而断裂伸长明显提高。

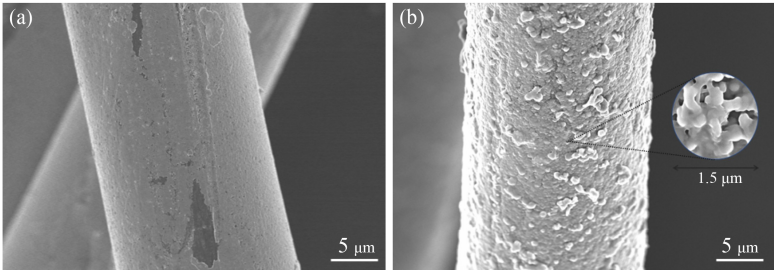


图 2 化学聚合 PPy 前后镀银锦纶纱线的 SEM：(a)聚合前；(b)聚合后

Figure 2 Optical microscope figures of silver-plated nylon yarn before and after chemical polymerization of PPy：
(a) before polymerization and (b) after polymerization

分析其原因,由于负载上聚吡咯之后,纱线表面结构致密,脆性增加,故当受到外力拉伸时其断裂强力有所下降。另一方面,经过化学处理,原丝的模量会有所降低,导致其断裂伸长有明显的提高^[19]。

表 2 两种纱线的断裂强力与断裂伸长

Table 2 Breaking strength and elongation at break of two yarns

名称	断裂强力(cN)	断裂伸长(mm)
镀银锦纶纱	321	104.26
聚吡咯涂层镀银锦纶纱	291	304.86

2. 1. 3 聚吡咯/镀银锦纶纱的电学性能 未负载 PPy 的镀银锦纶纱线电阻/应变关系如图 3(a)所示,其电阻大小随纱线应变量的增加而变大,但其变化量为 40 Ω,以镀银纱线为包缠纱包覆氨纶长丝制备应变传感器虽然也具有较好的灵敏度,但由于镀银纱线多次往复拉伸后电阻变化范围较大,导致传感器的重复性较差,传感性能不稳定,分析认为这是由于镀银纱线表面银层涂覆牢度较低,当包缠纱与芯纱多次往复拉伸产生的相对运动会破坏镀银涂层,导致导电通路产生破坏,因此为了提高纱线传感器的重复稳定性,利用 PPy 在镀银长丝表面进行负载。以 PPy/镀银长丝为包缠纱制备的应变传感器其电阻/应变变化关系如图 3(b)所示,结果同样表明其伸长率与电阻变化成正比例关系,灵敏度较大,具有较好的传感特性。

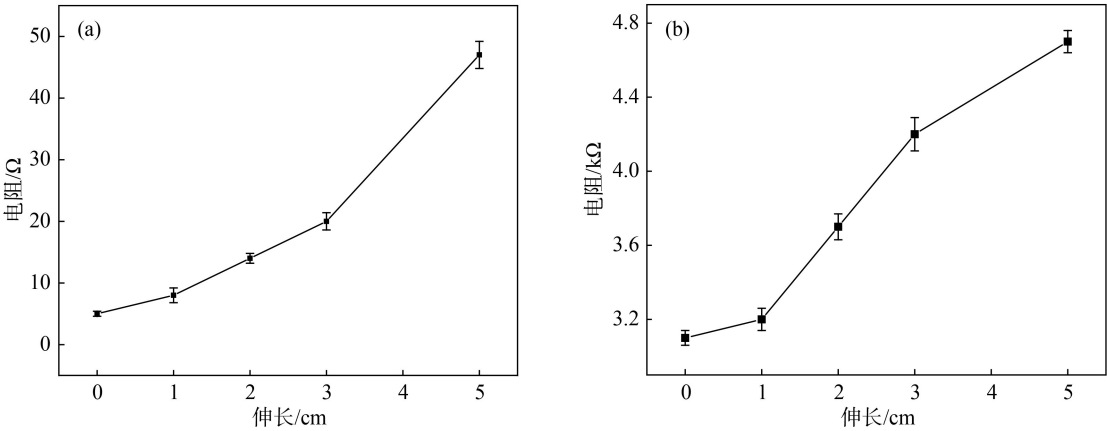


图 3 化学聚合 PPy 前后镀银锦纶纱线的电阻/伸长关系图：(a)聚合前；(b)聚合后

Figure 3 Resistance/elongation relationship of silver-plated nylon yarn before and after chemical polymerization of PPy：
(a) before polymerization and (b) after polymerization

综合分析,虽然镀银锦纶纱具有较高的断裂强力及良好的传感灵敏度,但由于其断裂伸长及银层负载牢度较低使其直接作为包缠纱传感器聚吡咯/镀银锦纶纱。

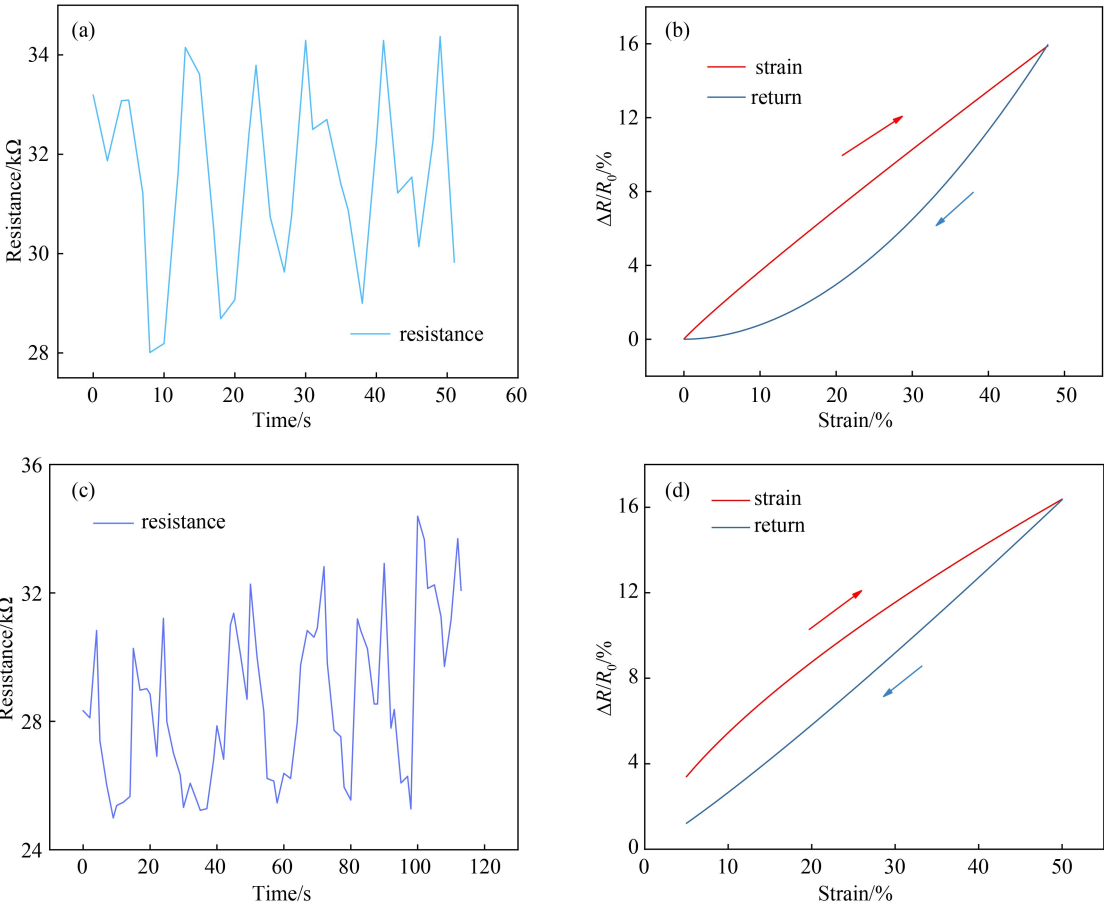


图 4 单包缠传感器电阻实时曲线和灵敏度曲线：(a)S-1-Sensor 电阻实时变化曲线；
(b)S-1-Sensor 灵敏度曲线；(c)S-2-Sensor 电阻实时变化曲线；(d)S-2-Sensor 灵敏度曲线

Figure 4 Single-wrap sensor resistance real-time curves and sensitivity curves;

(a) real-time change curve of S-1-Sensor resistance; (b) sensitivity curve of S-1-Sensor; (c) real-time change curve of S-2-Sensor resistance; (d) sensitivity curve of S-2-Sensor

2.2 包缠纱应变传感器的性能

2.2.1 单包缠纱应变传感器的性能 单包缠应变传感器电阻实时曲线如图 4(a)和 4(b)所示,结果表明,在 100 %拉伸形变下,S-1-Sensor 的电阻最大值为 34.5 kΩ,最小值为 30.5 kΩ,S-2-Sensor 电阻最大值为 34.3 kΩ,最小值为 25.1 kΩ。且两种传感器的电阻值均随着应变的增大,电阻值减小,当拉伸回复时,电阻值又逐渐增大的趋势。但 S-1-Sensor 在往复拉伸过程中初始状态的电阻稳定性高于 S-2-Sensor。分析认为,由于 S-1-Sensor 单包纱是在芯纱氨纶无伸长状态下进行包缠,因此该纱线在拉伸往复运动回归初始状态时包缠导电纱始终处于初始状态,虽然芯纱会出现拉伸疲劳现象,但由于包覆密度较大,包缠纱线之间相互隔离,不会产生影响,其包缠纱的电阻仍然为导电纱线初始两端纱线电阻,故其初始状态电阻较为稳定。而 S-2-Sensor 单包纱是在芯纱预拉伸 100%的条件下进行包覆,当包覆完成后芯纱回复到初始状态长度,包缠纱会相互靠近接触产生并联效应,故其两端电阻值相较 S-1-Sensor 小。当包缠纱往复拉伸后由于芯纱产生疲劳现象导致外包导电纱接触并联状态发生变化,故 S-2-Sensor 其初始状态电阻波动较大,且随着拉伸次数的增加两端电阻值逐渐增大。

在此基础上,对两种单包传感器的电阻变化率随应变的变化关系进行拟合,结果如图 4 (c)和 4(d)所示。拟合结果可以看出,对于单包传感器芯纱是否预拉伸对纱线传感器的电阻变化率几乎没有影响,最大电阻变化率均可达 16 %。并且在拉伸回复过程中在同一形变下均产生迟滞现象,说明纱线在往复过

程中外包导电纱结构及电路构成发生了变化。但不同的是 S-1-Sensor 纱线拉伸回复后,其电阻能恢复到初始大小,而 S-2-Sensor 纱线拉伸回复后电阻增加,无法回复到初始状态,这与图 4(a)和 4(b)结论保持一致。此外,S-1-Sensor 纱线伸长过程中灵敏度几乎保持不变(曲线斜率即为灵敏度),而在回复的过程中灵敏度先增大后减小。S-2-Sensor 纱线却具有相反的特性,伸长过程中灵敏度先增加后趋于稳定,而在回复的过程中灵敏度几乎保持不变。

2.2.2 双包缠纱应变传感器的性能 双包缠应变传感器电阻实时曲线如图 5(a)和 5(b)所示,相比较于单包缠纱,双包缠电阻明显降低,由 34 kΩ 降低至 17.1 kΩ,降幅可达 49.7%。这是由于 Z 捻与 S 捻的相互交叉作用,纱线被微分成小片段,每一片段之间呈并联状态,故电阻下降。对于无预拉伸双包缠 D-1-Sensor 纱(图 5a),其拉伸电阻曲线在初始阶段电阻变化率较小,而随着往复拉伸的进行,其电阻变化率趋于稳定。分析认为双包缠纱单位长度外包纱更加紧密,拉伸循环中初始状态纱线抱合较大,电阻变化率较小,随着循环拉伸次数的增加,芯纱产生松弛现象,外包纱抱合度降低,纱线相对滑移增加,电阻变化率增大,但当外包纱不在产生相对滑移稳定后,电阻变化率趋于稳定。对于预拉伸双包缠 D-2-Sensor 纱(图 5b),由于芯纱在包缠时已经预拉伸,故再次进行往复拉伸时,纱线位置始终保持包缠拉伸初始状态,故电阻变化率较为稳定。此外 D-2-Sensor 纱制备流程是在芯纱预拉伸后进行包覆,外包纱在芯纱回复初始状态后纱线相互接触,故电阻更低,初始电阻仅为 15.6 kΩ。

双包缠灵敏度曲线如图 5(c)和 5(d)所示,无预拉伸的包缠纱 D-1-Sensor 的最大电阻变化率为 16%

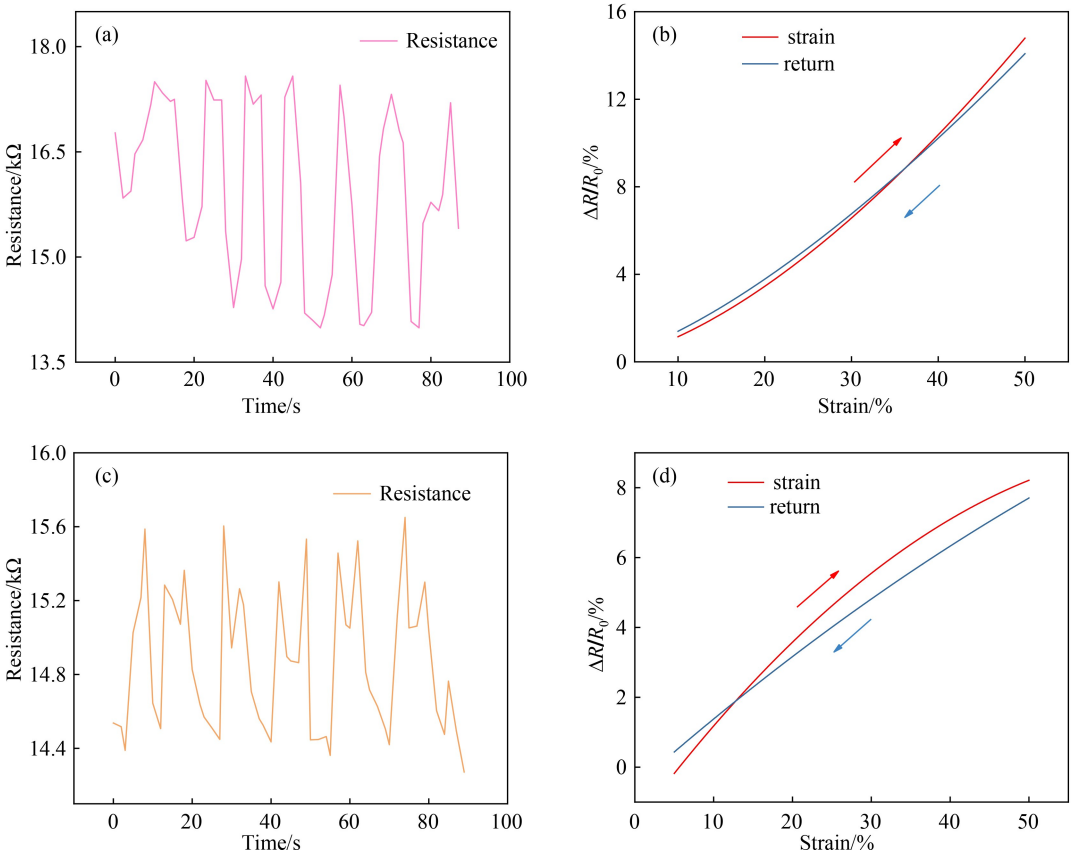


图 5 双包缠传感器电阻实时曲线和灵敏度曲线:(a)D-1-Sensor 电阻实时变化曲线;
(b)D-1-Sensor 灵敏度曲线;(c)D-2-Sensor 电阻实时变化曲线;(d)D-2-Sensor 灵敏度曲线

Figure 5 Double-wrap sensor resistance real-time curve and sensitivity curves:(a) real-time change curve of D-1-Sensor resistance; (b) sensitivity curve of D-1-Sensor; (c) real-time change curve of D-2-Sensor resistance; (d) sensitivity curve of D-2-Sensor

(图 5c),初次拉伸后,电阻变化率几乎不变,稳定性好。将芯纱氨纶预拉伸后的包缠纱 D-2-Sensor,其电阻变化率仅为 8%(图 5d),说明在双包缠模式下,芯纱预拉伸不能提高包缠纱的传感特性。分析认为在氨纶纱牵伸后回复到初始状态外包导电纱线相互接触,类似并联,整体电阻较低,而再次拉伸时纱线处于舒展状态电阻大小由纱线自身电阻及外包纱相互交织产生的接触电阻所决定,这与无预拉伸包缠纱在拉伸状态下结构较为相似,因此,拉伸变形后其电阻几乎相同。而由于初始电阻 D-2-Sensor 较小,故 D-2-Sensor 电阻变化率较低^[20]。此外,与已报道的采用纺织加工方式制备的纱线传感器进行性能对比,结果如表 3 所示,Shang 等采用加捻的方法,将碳纳米管纱线(CNT)沿成纱方向卷绕成螺旋环,从而制备纤维型应变传感器,其应变伸长率达到 25%,但电阻变化率较低。Yang 等则是利用环锭纺将棉纱与 CNT 缠绕,组装成的应变传感器电阻变化率较高,高达 25%^[21,22]。连续加捻或直接纺纱均可实现纱线传感器的连续制备,但包缠法得到的纱线传感器的伸长率及电阻变化率均高于上述两种方法,因此,该方法为大规模制备纱线应变传感器提供了一种新的思路。

表 3 纺织加工方式制备的纱线传感器性能对比		
Table 3 Performance comparison of yarn sensors prepared by textile processing methods		
制备方法	应变伸长率(%)	电阻变化率(%)
加捻 ^[21]	25	3.5
纺纱 ^[22]	7	25
包缠(本文)	50	17

3 结论

本实验以镀银锦纶纱线为基体,通过简单的化学聚合 PPy 制备外包缠纱线,再将 PPy/镀银锦纶纱线与氨纶纱以不同形式的进行包缠,制备出灵敏度好、可拉伸的柔性应变传感器。结论如下:对比单、双包缠两种模式,双包缠会显著降低柔性应变传感器电阻,电阻由单包缠的 34kΩ 降低至 17.1 kΩ,降幅可达 49.7%,而且双包缠纱线的迟滞较低。但单包缠纱线传感器的电导率/伸长曲线线性程度更好,电阻变化可达 17%,灵敏度较好。此外,芯纱预拉伸对包缠应变传感器的性能具有一定的影响,双包缠时,芯纱预拉伸制备的纱线传感器虽会降低纱线电阻,但其灵敏度也随之降低,电阻变化率仅为 8%;单包缠时,电阻有所降低,但传感器的灵敏度略微提高。该方法可实现可拉伸纱线传感器的连续化制备且单位长度制备成本约 2 元,具有一定的应用价值。

参考文献:

[1] Zhao Y, Liu Y, Li Y, Hao Q. Sensors, 2020, 20(20): 5826.

[2] Kwak Y. H, Kim W, Park K. B, Kim K, Seo S. Biosens Bioelectron, 2017, 94:250~255.

[3] Liu X, Wei Y, Qiu Y. Micromachines, 2021, 12(6): 695.

[4] Agaoglu S, Diep P, Martini M, KT S, Baday M, Araci I. Lab Chip, 2018, 18(22): 3471~3483.

[5] Nag A, Mukhopadhyay S C, Kosel J. IEEE Sens J, 2017, 17(13): 3949~3960.

[6] Chen J, Yu Q, Cui X, Dong M. J Mater Chem C, 2019, 7(38): 11710~11730.

[7] Wang Z, Wu S, Wang J, Yu A, Wei G. Nanomaterials, 2019, 9(7): 1045.

[8] Liu H, Jiang H, Du F, Zhang D, Li Z, Zhou H. ACS Sustain Chem Eng, 2017,5(11):10538~10543.

[9] Kanoun O, Bouhamed A, Rajarajan R, Bautista-Quijano J R, Rajendran D, Al-Hamry A. Sensors, 2021, 21(2):341.

[10] Wang X, Yu J, Cui Y, Li W. Sens Actuators A, 2021, 330:112838.

[11] Giffney T, Bejanin E, Kurian A S, Travas-Sejdic J, Aw K. Sens Actuators A, 2017, 259:44~49.

[12] Lin Y, Liu S, Chen S, Wei Y, Dong X, Liu L. J Mater Chem C, 2016, 4(26): 6345~6352.

[13] Cheng M, Zhu G, Zhang F, Tang W L, Shi J, Yang J, Zhu L. Adv Res, 2020,26:53~68.

[14] Zhang J, Zhang Y, Li Y, Wang P. Polym Rev, 2021,62(1): 1~31.

[15] Yan T, Wang Z, Pan Z J. Curr Opin Solid State Mater Sci, 2018, 22(6): 213~228.

[16] Zhang M, Wang C, Wang Q, Jian M, Zhang Y. ACS Appl Mater Interfaces, 2016, 8(32): 20894~20899.

[17] Morales A, Zaghloul M. IEEE Sens J, 2018, 18(24): 9910~9918.

[18] Santino L M, Hwang E, Diao Y, Lu Y, Wang H, Jiang Q, Singamaneni S, D’Arcy J. ACS Appl Mater Interfaces, 2017, 9(47): 41496~41504.

[19] Chaturvedi R, Gupta R K, Gorhe N, Tyagi P. Compos Part A, 2020, 131: 105810.

[20] Liu Y, Zheng H, Liu M. Mater Des, 2018, 141:276~285.

[21] Shang Y, Li Y, He X, Zhang L, Li Z, Li P, Shi E, Wu S, Cao A. Nanoscale, 2013, 5(6): 2403~2410.

[22] Yang M, Fu C, Xia Z, Cheng D, Cai G, Tang B, Wang X. Cellulose, 2018, 25(7): 4239~4249.

Preparation and Properties of Polypyrrole Yarn Strain Sensors

NIE Wen-qi^{1,2}, XU Shuai¹, SUN Jiang-dong¹, CHU Chang-liu¹, XU Zhen-zhen^{1*}

(1. School Of Textile And Garment, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China;

2. Key Laboratory Of Bio-Fibers And Eco-Textiles, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract: Using spandex yarn as the core yarn and PPy/Ag nylon filaments as the wrapping yarns, the single-wrap and double-wrap yarn strain sensors are prepared by textile wrapping. The performance of electrical property is characterized, and the relationship among strain sensing, wrapping method and pre-stretching of the spandex core yarn are explored. The results show that; strain sensor made by PPy/Ag filaments wrapped yarn has good sensing performance, the rate of resistance change can be reached 16%; the high stretchability, its elongation can reach 50%; the double-wrapped yarn resistance is better than the single-wrapped yarn. The double-wrapped yarn resistance is reduced to 49.7%, but the sensitivity of the single-wrapped yarn is higher than double-wrapped yarn; pre-stretching of the core yarn spandex can adjust the resistance of the flexible strain sensor in the single-wrapping mode, but has a small effect on the sensitivity of the yarn sensor.

Key words: Polypyrrole; Strain sensor; Wrap; Spandex; Sensitivity