

聚酰亚胺纤维性能及其成纱性能

付立凡¹, 谢春萍¹, 刘新金¹, 苏旭中¹, 乐荣庆²

(1. 江南大学 生态纺织教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 南通双弘纺织有限公司, 江苏 南通 226000)

摘要: 为研究聚酰亚胺纤维的性能及其品种适用性, 文章对聚酰亚胺纤维进行各种表征及性能测试, 探究聚酰亚胺纤维的可纺性。通过赛络纺纺纱工艺, 分别纺制 14.8、19.7、29.6 tex 三种纯纺纱线, 并对三种纱线的表面外观、拉伸断裂性能、条干均匀度和毛羽指数等指标进行测试, 探讨聚酰亚胺纯纺纱线的质量。研究表明: 聚酰亚胺纤维表面光滑, 截面呈不规则状; 纤维大分子结构稳定, 回潮率较低; 比电阻数量级高; 纤维的强力高, 韧性好, 可纺性好。但和普通合成纤维类似, 纺纱过程中静电现象严重, 在前纺阶段, 应该对其进行油剂喷雾处理, 防止静电现象。

关键词: 聚酰亚胺纤维; 性能测试; 可纺性; 纯纺; 静电现象

中图分类号: TS101.92

文献标志码: A

文章编号: 1001-7003(2019)01-0013-08

引用页码: 011103

Performance of polyimide fiber and its composite yarn

FU Lifan¹, XIE Chunping¹, LIU Xinjin¹, SU Xuzhong¹, LE Rongqing²

(1. Key Laboratory of Eco-Textiles, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Nantong Double Great Textile Co., Ltd., Nantong 226000, China)

Abstract: In order to study the properties of polyimide fibers and the applicability of their varieties, some characterizations and performance tests for polyimide fibers have been done to explore the spinnability of polyimide fibers. And three kinds of yarns including 14.8, 19.7 and 29.6 tex were spun through the Siro spinning process. In order to explore the quality of pure polyimide yarn, the surface appearance, tensile fracture performance, evenness and hairiness index of the three kinds of yarns were tested. The research showed: polyimide fiber had a smooth surface and an irregular cross section; its macromolecular structure was stable, and its moisture regain was low; its specific resistance level was high; the fiber strength was high and toughness was good, so the spinnability of polyimide fibers was good. However, similar to ordinary synthetic fibers, the electrostatic phenomenon of polyimide fiber was serious during spinning. Therefore, in the spinning stage, the fibers should be treated with oil mist to prevent electrostatic phenomenon.

Key words: polyimide fiber; performance testing; spinnability; pure spinning; electrostatic phenomenon

收稿日期: 2018-05-08; 修回日期: 2018-11-14

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏政办发(2014)37号); 江苏省产学研项目(BY2016022-16, BY2016022-27); 江苏省自然科学基金项目(BK20170169); 宿迁市工业支撑项目(H201612、H201607); 纺织服装产业河南省协同创新项目(hnfx14002); 广东省产学研项目(2013B090600038); 江苏省先进纺织工程技术中心基金项目(XJFZ/2016/4); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(JUSRP51731B)

作者简介: 付立凡(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为纺纱新技术。通信作者: 谢春萍, 教授, wxchp@163.com。

目前, 中国聚酯产业正处于转型升级阶段, 《纺织工业“十二五”科技进步纲要》中明确提出要求耐高温聚酰亚胺纤维实现产业化^[1]。聚酰亚胺是一种综合性能非常优异的材料, 作为先进复合材料基体, 具有突出的耐温性能和优异的机械性能^[2]。随着高新技术的不断发展, 各行业对高性能材料的需求日益增加, 聚酰亚胺纤维作为一种新型的高性能材料也越来越受到重视。所以, 近些年来随着聚酰亚胺合成方法的改进和纺丝技术的进步使得聚酰亚胺纤维的研制工作重新热起来^[3]。相关研究表明, 聚酰

亚胺分子中十分稳定的芳杂环结构,使其表现出其他高分子材料无法比拟的优异性能,尤其在耐高温和耐低温性能方面比较突出,且自身的阻燃性能优异^[4],聚酰亚胺被认为是已经工业化的聚合物中耐热性能最好的品种,自身具有较高的阻燃性能,发烟率低,可满足大部分领域的阻燃要求^[5]。聚酰亚胺纤维作为先进的复合材料常用的材料,被广泛应用在航空航天中耐高温器材的领域上^[6]。所以,以聚酰亚胺纤维优异的特性,加快聚酰亚胺在市场应用的发展,扩展在各领域的应用,发挥聚酰亚胺更多的作用,这样不仅可以在一些关键领域取代其他高性能纤维,也有利于中国高性能纤维领域整体产品结构调整和效益结构优化升级^[7]。但一直以来,由于聚酰亚胺产业化的过程受到工艺、开发资金等各种阻碍,使得聚酰亚胺纤维的发展步履维艰,也就造成市场上聚酰亚胺纤维一直处于较高的价格。直到 2010 年,长春高琦聚酰亚胺材料有限公司才实现了聚酰亚胺纤维的规模化生产,2011 年,江苏奥神新材料股份有限公司才得以实现聚酰亚胺纤维的产业化生产^[8]。到目前为止,聚酰亚胺纤维在国内的生产已初具规模,所以利用聚酰亚胺纤维的热学和力学上的优异性能去研究其在灭火消防服领域的应用具有广阔的前景。东华大学曾对长春高琦聚酰亚胺材料有限公司的轱伦纤维进行了阻燃消防服的开

发^[9],但未对聚酰亚胺纤维的纤维特性及相关的纯纺工艺进行研究。

本文在聚酰亚胺优异性能的基础上,一方面对聚酰亚胺纤维的各项性能进行研究,探讨聚酰亚胺纤维的特性;另一方面针对聚酰亚胺纤维的性能进行纺纱工艺参数的设定及优化,以期生产出质量更好的纯纺聚酰亚胺纤维纱线,为后期研制出比市场上常用消防服更具性能优势的高性能防护服奠定基础。本文所研究的聚酰亚胺纤维来自江苏奥神新材料股份有限公司,首先通过对聚酰亚胺纤维进行纤维形态、纤维红外光谱分析、纤维的比电阻和纤维的回潮率等一系列测试分析,并将聚酰亚胺纤维的部分指标与芳纶 1313 纤维、黏胶纤维和长绒棉纤维等进行数据对比,分析聚酰亚胺特性的优缺点。同时进行纺纱工艺设计及工艺参数优化,通过赛络纺的纺纱工艺对聚酰亚胺纤维进行纯纺,探讨聚酰亚胺纤维的可行性及纯纺纱线的成纱性能,为实际生产提供参考依据。

1 实验设备和方法

1.1 设 备

测试四种纤维所用的实验仪器与设备如表 1 所示。

表 1 实验仪器与设备

Tab. 1 Experimental instruments and equipment

实验仪器	型号	制造厂家
切片器	Y172	南通三思公司
纤维细度仪	CU-6	奥林巴斯
傅里叶红外光谱仪	Nicolet is10	赛默飞世尔科技公司
扫描电镜	SU1510	长沙科美公司日立公司
单纤维电子强力仪	YG 001B	太仓宏大纺织仪器公司
纤维比电阻试验仪	YG321	南通三思公司
八篮恒温烘箱	Y802	常州双固顿达机电科技公司
工业链条天平	TL-2	天津天巴仪器仪表公司
细纱机	QTM129	东台马佐里有限公司
单纱强力仪	YG068C	苏州长风纺织机电科技有限公司
乌斯特全自动纱线检测仪	UT5	乌斯特有限公司

1.2 方 法

1.2.1 纤维形态实验

实验采用 Y172 型切片器制作的聚酰亚胺纤维的样品切片,然后采用奥林巴斯的 CU-6 纤维细度仪的光学显微镜对纤维的横向形态进行观察;另外将几根聚酰亚胺纤维平铺在载玻片上做成样片,放在

显微镜下初步对聚酰亚胺形态进行观察。

1.2.2 红外光谱分析

采用 Nicolet is10 傅里叶红外光谱仪,用溴化钾压片的方法将聚酰亚胺纤维压成薄片,放置在样品架上对其进行红外光谱测试。扫描 10 次,分辨率 4 cm^{-1} ,波数 $500\sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$ 。

1.2.3 纤维扫描电镜实验

本次实验中通过测试棉、黏胶和芳纶 1313 三种纤维的表征与性能并与聚酰亚胺纤维进行对比分析。测试纤维的力学性能之前,首先对四种纤维的纵向表面形态进行扫描电镜,实验采用 SU1510 型扫描电镜,对每种纤维的形态观察都是放大 5 000 倍。经过制样、处理和调整参数观察等流程,最后截取需要的电镜图片。

1.2.4 纤维拉伸性能实验

在对四种纤维的力学性能测试中,实验采用 YG 001B 单纤维电子强力仪测试强力,根据四种纤维的拉伸特性,各实验参数设置为:夹持距离 20 mm,夹持速度 20 mm/min,其中预加张力为 0.1 cN,每种纤维测试 20 次取平均值。纤维在拉伸实验时,从中间断裂是有效的,从两端断裂是无效的。

1.2.5 纤维的比电阻实验

实验采用 YG321 型纤维比电阻试验仪测定聚酰亚胺纤维的比电阻。一般来说,合成纤维吸湿性较差,回潮率较低,纤维比电阻较高,实际生产中常采用油剂处理纤维的方法,降低静电现象,提高纤维的可纺性。生产中为了使合成纤维能够顺利纺纱,要保证纤维的质量比电阻在 $10^9 \Omega \cdot \text{g}/\text{cm}^2$ 以内,所以有必要对聚酰亚胺纤维进行比电阻的测试,从而探究其可纺性。

1.2.6 回潮率测定

回潮率是衡量材料吸湿性能的一项重要指标。聚酰亚胺纤维的回潮率测定实验中,参照 GB 9994—2008《纺织材料公定回潮率》,采用 Y802 型八篮恒温烘箱、TL-2 型工业链条天平对聚酰亚胺纤维进行回

潮率测试。

1.2.7 聚酰亚胺纯纺纱线的纺制

细纱的纺制使用的是 QTM129 型超大牵伸细纱机。本次试纺的粗纱定量为 3.5 g/10 m,细纱工艺阶段采用了“大隔距,中捻度,重加压,中弹中厚胶辊,低速度,小后区牵伸,小钳口,合适的温湿度”的原则;工艺上需要对三种不同纱线采用不同的工艺优化,注意牵伸区的合理分配,加压、罗拉隔距等要与牵伸力相适应;同时选择合适的纲领钢丝圈和锭速,减少纱线断头,使成纱稳定,从而保证成纱质量。

1.2.8 聚酰亚胺纱线的强力测试

实验采用 YG068C 全自动单纱强力仪测试纱线强力。实验过程中保持在温度 25℃,湿度 65% 左右的环境下进行。每种纱线测试 10 次,各项测试数据取平均值。

1.2.9 聚酰亚胺纱线的条干测试

实验使用的是乌斯特 UT5 全自动纱线检测仪。纱线的条干影响着织物的外观和织造过程中的断头率,纱线的毛羽不仅决定着织物的透气性、抗起毛起球、织物外观等性能,还影响着纱线中纤维的利用率及强度。实验中纱线的测试速度为 400 m/min,测试长度为 400 m。

2 结果与分析

2.1 纤维形态实验分析

图 1 为聚酰亚胺纤维的纵横向的表面光学显微镜照片。其中纵向放大倍数为 1 000 倍,横向放大倍数为 500 倍。

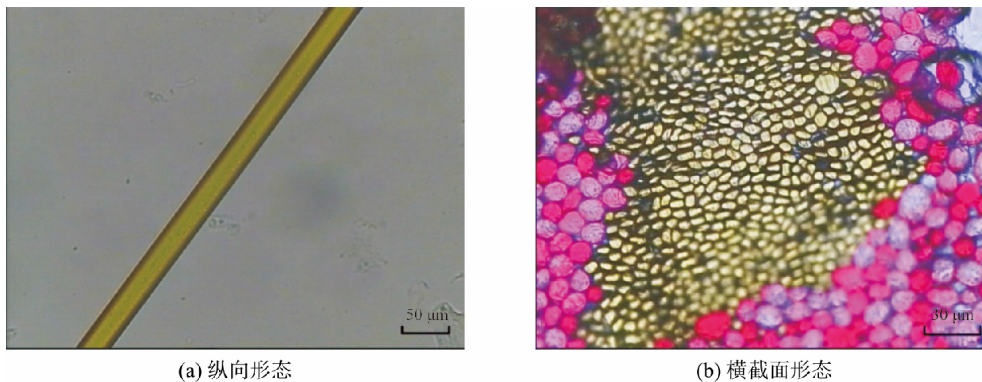


图 1 聚酰亚胺纤维纵向和横截面形态

Fig. 1 The longitudinal and cross-sectional form of polyimide fibers

图 1(a) 显示的是聚酰亚胺纤维纵向形态,可以看出表面很光滑,与大多数常规化纤形态相似。考虑到纺纱流程工序,这种形态特征一方面使得纤维

具有良好的规整性,在纺纱过程中易于梳理,使得条干均匀度更好;另一方面由于其表面光滑的特点,使得纤维之间的抱合力相对较差,而且与多数化纤类

似,存在着静电过大的问题,需要在纺纱前进行一定的预处理工序。

图1(b)显示的是聚酰亚胺纤维的横向形态,可以看出其聚酰亚胺纤维的横截面并没有特定的形态特征,属于不规则的截面结构。结合纺纱工序的工艺可以推断,由于聚酰亚胺纤维的不规则横截面形态,可以增加纤维与纤维间的接触面积,从而提升其抱合力,利于纺纱的进行。结合聚酰亚胺优异的热学性能特点,如果将聚酰亚胺纤维

应用到滤材材料中,聚酰亚胺纤维因为其不规则的截面形态结构,不仅大大增加了捕集尘粒的能力,提高过滤效率,同时也能使粉尘大多集中到滤料的表面,较难渗透到滤料的内部堵塞孔隙,另外,聚酰亚胺纤维的耐高温性能特别优异,所以聚酰亚胺可以作为特殊过滤环境使用温度最高的滤材^[9-11]。

2.2 红外光谱分析

图2为聚酰亚胺纤维的红外光谱图。

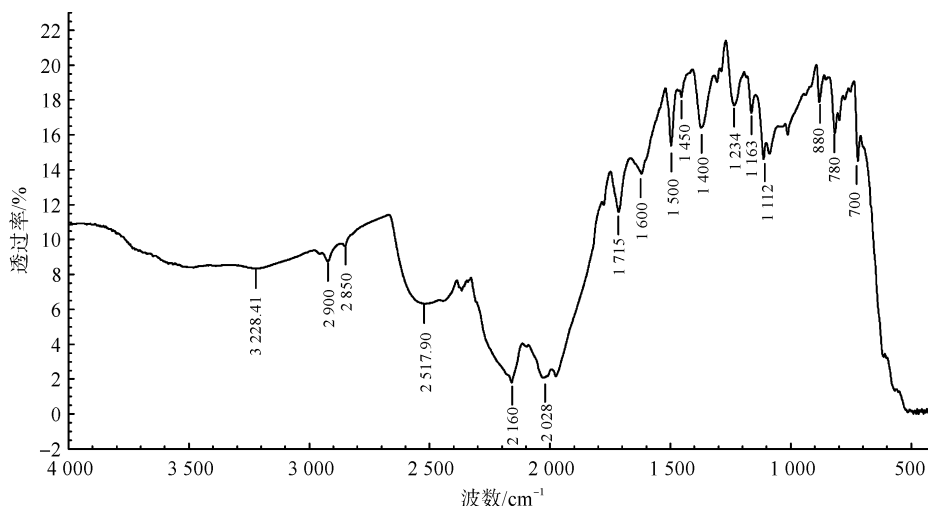


图2 聚酰亚胺的红外光谱

Fig.2 The infrared spectra of polyimide

从图2可以看到,在 3228.41 cm^{-1} 区域存在不饱和碳C—H伸缩振动吸收峰,在 $2900\sim 2800\text{ cm}^{-1}$ 区域存在饱和碳C—H伸缩振动吸收,可以在 1600 、 1580 、 1500 cm^{-1} 和 1450 cm^{-1} 处发现强度不等的4个峰,因此可以判断,聚酰亚胺纤维的大分子中存在芳烃结构。进一步观察指纹区,在 880 、 780 、 700 cm^{-1} 处存在的三个明显的峰值,说明该芳烃结构的取代基是由氢键间二取代形成的;在 2160 cm^{-1} 处可以观察到明显的特征峰,它是炔形成的不饱和碳碳三键的伸缩振动吸收特征峰;在 1710 、 1600 cm^{-1} 处则分别是由C—O伸缩振动形成的醛的特征吸收峰和酰胺的特征吸收峰;在 1112 、 1163 cm^{-1} 和 1234 cm^{-1} 处存在明显的特征峰,说明大分子中存在醚的C—O键伸缩振动,其中 1112 cm^{-1} 处为饱和醚碳氧键的伸缩振动, 1234 cm^{-1} 处为芳香醚碳氧键的伸缩振动。通过对聚酰亚胺纤维的红外光谱测试,可以大致

了解聚酰亚胺纤维的大分子结构的组成,看出聚酰亚胺的大分子结构由于芳烃结构的存在使得其结构相对稳定,并发现聚酰亚胺纤维大分子中并无较多的亲水基团。

2.3 纤维扫描电镜实验分析

图3为四种纤维扫描电镜照。

从图3可以清晰看出,聚酰亚胺纤维的表面最为光滑,无凹槽条纹等,取向度最好,在相同的放大倍数的情况下,聚酰亚胺纤维相较于棉纤维和黏胶纤维直径较大一些。观察图3(a)(b)可以发现,棉纤维和黏胶纤维表面弯曲明显,沟槽较多,取向度较低,可以推测聚酰亚胺纤维对比棉纤维和黏胶纤维具有更高的强度表现。而对比图3(c)(d)可以看出,同样的放大倍数,芳纶1313纤维和聚酰亚胺纤维直径相差不大,芳纶1313纤维表面有比较细微的纵向纹理,取向度都很高,纤维的强度表现应该都很大。

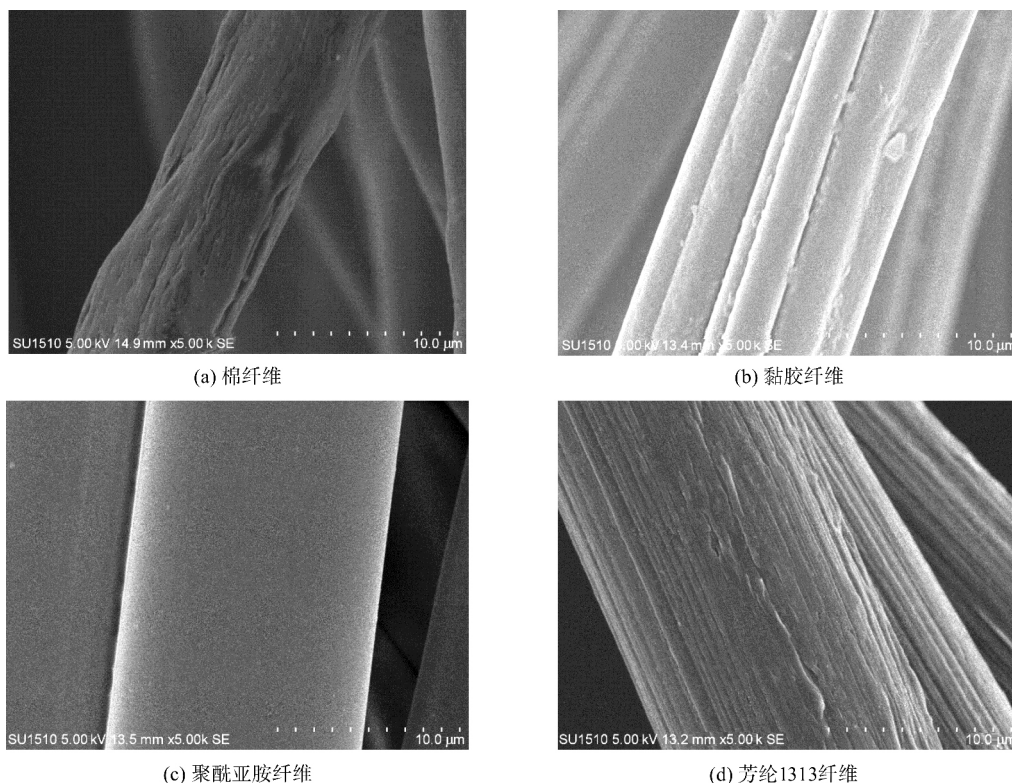


图3 四种纤维扫描电镜照

Fig.3 Scanning electron microscope images of four kinds of fibers

2.4 纤维拉伸性能实验分析

经统计求平均值可以得到表2所示的四种纤维的力学性能参数。

表2 四种纤维的力学性能

Tab.2 The mechanical properties of four kinds of fibers

试样	断裂强力/ cN	断裂强度/ (cN · dtex ⁻¹)	初始模量/ (cN · dtex ⁻¹)	断裂伸长率/ %
聚酰胺	7.52	3.58	49.82	16.84
芳纶 1313	8.61	3.83	95.33	20.70
黏胶	2.63	1.02	47.47	18.17
棉	4.66	2.74	53.57	9.35

纤维的强度是纤维具有可纺性能的一个重要条件,纤维的强度越高,成纱强度越高,相应的纤维可纺性越好;纤维的断裂伸长是衡量纤维相对强度的指标之一,纤维的断裂伸长越高,断裂伸长率就越高,纤维承受拉伸变形的能力越好,断裂伸长率的指标可以衡量不同纤维的韧性强度高低。

从表2可以看出,不管是断裂强力还是断裂强度,聚酰胺纤维和芳纶1313纤维都有着明显的优势,相比黏胶纤维和棉纤维要大很多,这跟四种纤维的取向度有着紧密的关系。除了棉纤维之外,其他三种纤维都有着较为优秀的断裂伸长率,说明这三

种纤维都有着很强的韧性。通过初始模量的数据可以看出,芳纶初始模量最大,其他三种纤维的初始模量相差不大,在50 cN/dtex左右。综合来看,一方面聚酰胺纤维的高强高拉伸及较为稳定的高模量等优异性能,为后续纺纱工序提供了良好的基础条件;另一方面对比聚酰胺纤维和芳纶1313纤维的具体力学性能参数,可以发现相差不大,所以在后道纺纱工序中,部分工艺参数设计可以参考芳纶1313纤维的纺纱工艺。

2.5 纤维的比电阻实验分析

体积比电阻 P_v 是指单位长度上所施加的电压 U 与相对于截面上所流过的电流 I 之比,单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。根据实验,按照下式计算聚酰胺纤维的体积比电阻 P_v 和质量比电阻 P_m :

$$P_v = R \frac{m}{l^2 d} \quad (1)$$

$$P_m = R \frac{m}{l^2} \quad (2)$$

式中: R 为测得的纤维的平均电阻值, Ω ; m 为纤维的质量, 15 g; l 为两极板之间的距离, 2 cm; d 为纤维的密度, 1.4 ~ 1.5 g/cm³。

实验中,纤维的平均电阻值测试5次,求平均

值,经过计算,聚酰亚胺纤维的体积比电阻为 $3.4 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 。表 3 列举了一部分纤维的比电阻及经过测试的聚酰亚胺纤维的体积比电阻。

表 3 聚酰亚胺纤维和其他常规纤维的体积比电阻

Tab.3 The specific resistance of polyimide fibers and other conventional fibers

纤维种类	体积比电阻/($\Omega \cdot \text{cm}$)
聚酰亚胺	3.40×10^{12}
芳纶 1313A	2.65×10^{13}
黏胶	1.76×10^7
棉	1.20×10^5

经过计算转换,聚酰亚胺纤维的质量比电阻为 $4.76 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{g}/\text{cm}^2$ 。生产中为了使合成纤维能够顺利纺纱,要保证纤维的质量比电阻在 $10^9 \Omega \cdot \text{g}/\text{cm}^2$ 以内,可以看到聚酰亚胺纤维的质量比电阻高于 $10^9 \Omega \cdot \text{g}/\text{cm}^2$ 数量级很多。通过对聚酰亚胺纤维的红外光谱实验可以发现,聚酰亚胺纤维的大分子结构中,具有较为稳定的苯环结构基团,还具有明显的炔、醚等疏水基团,这些基团结构稳定,亲水性差。另外发现大分子中存在较少的醛基、酰胺基等亲水基团,所以聚酰亚胺纤维表现出吸湿性低、回潮率低的特点,与多数化纤相同,聚酰亚胺纤维导电性较差,比电阻相对较高。从理论上讲,较高的质量比电阻不能够保证其纯纺的顺利进行,但相比芳纶,聚酰亚胺质量比电阻数量级低,可纺性能相对好一点;相比黏胶纤维,棉纤维等可纺性很好的纤维,聚酰亚胺质量比电阻的数量级要大很多。所以,实际生产前需要对纤维进行一定的喷油雾处理,以降低聚酰亚胺纤维的质量比电阻,提高其纺纱性能。因此,通过对聚酰亚胺纤维的比电阻测定,为后续聚酰亚胺纤维纺纱工艺提供了一个重要的理论基础。

2.6 回潮率测定与分析

回潮率是衡量材料吸湿性能的一项重要指标。经过计算,测得聚酰亚胺纤维的回潮率为 1.178%,查阅文献,了解到芳纶 1313 的回潮率为 6.5%,涤纶的回潮率为 0.4%,棉的回潮率为 8.5%,黏胶的回潮率为 13%。

可以发现,聚酰亚胺纤维的回潮率相比于棉纤维和黏胶纤维要低很多,与多数化纤相比,虽然都具有较低的回潮率,但聚酰亚胺纤维自身的回潮率在化纤中也属于很低的水平。可以预测,聚酰亚胺纤维较低的回潮率对纺纱工序并不友好,较低的回潮率会造成纤维抱合力降低、毛羽增多等现象。当然

这与聚酰亚胺的大分子结构有着紧密的联系,前面通过聚酰亚胺纤维的红外光谱分析可以发现,聚酰亚胺纤维并没有较明显的亲水基团,所以其吸湿性能相对较差,从而具有较低的回潮率。所以在后续纺纱工序中,需要对此进行相应工艺参数的优化,以提高聚酰亚胺纤维的可纺性能。

2.7 聚酰亚胺纯纺纱线的纺制

从聚酰亚胺纤维的各项性能测试数据可以看出,聚酰亚胺纤维具有与芳纶 1313 纤维大致相同的性质,匀整度好、强力高、拉伸性能优异等,所以在小批量试纺阶段,可以直接将制备的聚酰亚胺纤维从梳棉阶段喂入纺纱^[1]。但同时也与常规化纤一样,聚酰亚胺存在着回潮率低,质量比电阻较高,纺纱过程中容易产生静电现象的问题,需要在前纺阶段对聚酰亚胺纤维进行油雾处理,提高纤维的回潮率,降低纤维的比电阻,提高聚酰亚胺纤维的可纺性。后纺阶段,为了提高条干均匀度,降低毛羽,提高纱线质量,采用了“低速度,重加压,匀牵伸,合适的温湿度”等工艺参数。细纱工序使用赛络纺纺纱方式,优化成纱质量。

本次纺纱使用赛络纺的纺纱方式,赛络纺是一种集纺纱、并线、加捻为一体新型纺纱方法。赛络纺纱线具有表面较为光洁、毛羽较少,条干均匀度更好的特点,纱呈内松外紧的圆形特征,相对而言,所纺纱线相比于普通环锭纺纱线,弹性更好,耐磨性高。最后,利用赛络纺的纺纱方式将聚酰亚胺纤维纺成 14.8、19.7、29.6 tex 三种纱线,其主要工艺参数如表 4 所示。

表 4 三种纱线的部分细纱工艺参数

Tab.4 Some spinning process parameters of three kinds of yarn

纱线规格/ tex	牵伸倍数	捻系数	锭速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	钢领	钢丝圈
14.8	47.30	331	10 000	PG1	4/0
19.7	35.53	331	10 000	PG1	3/0
29.6	23.64	320	12 000	PG1	1/0

2.8 纱线强力测试与分析

强力是衡量纱线的可织造性能的一个重要指标,决定了织物的耐用性。单纱的强力和断裂伸长为纱线强度指标。通过测试中观察三种不同线密度的纯纺纱线的拉伸性能曲线可以发现,三种纱线的拉伸曲线呈正比例函数曲线分布,另外随着线密度的提高,聚酰亚胺纯纺纱线的强力有着明显的提高。经统计求平均值,得到表 5 所示数据。

表 5 三种纱线的拉伸性能

Tab. 5 The tensile properties of three kinds of yarn

纱线规格 / tex	单纱强力 / cN	断裂强度 / (cN · tex ⁻¹)	初始模量 / (cN · tex ⁻¹)	断裂伸长率 / %	断裂强力 CV / %
14.8	324.54	21.93	3.34	8.08	6.51
19.7	368.19	18.69	2.71	8.13	4.46
29.6	689.12	23.20	2.53	9.76	5.18

由表 5 可以看出,三种纱线的单纱强力随着纱线线密度的增加有着明显增大的趋势,但 19.7 tex 线密度纱线相比 14.8 tex 线密度纱线增加范围不大,这可能是在细纱工序过程中由于静电现象、拉伸不均或者罗拉隔距设置不当等原因造成拉伸不均形成的误差,也可能是由于前道工序的条子条干不均造成了细纱条干不均形成的,具体原因有待后续再进行探索。另外三种纱线的断裂强度都很高,稳定在 20 cN/tex 左右,其中 29.6 tex 纱线断裂强度最大,且三种纱线的断裂伸长率随着线密度的增加有上升的趋势;观察三种纱线的初始模量,可以发现随着线密度的提高,初始模量有逐渐递减的趋势。所以,三种纱线的力学性能都较为优良,完全能够满足后道织造工序。但从强力 CV 值得统计数据来看,三种纱线都存在着断裂强力 CV 值偏大的问题,经过分析,这可能是由于整个纺纱过程中,静电现象或者工艺参数配置不当等原因造成纤维抱和的不均匀、滑移严重等问题,使得所纺纱线的纤维分布不均匀,故断裂强力 CV 值较高。

综合来看,由于采用赛络纺的纺纱方式,三种纱线的力学性能基本满足织造要求。但综合质量并不优秀,依然需要进一步优化工序工艺,解决纱线断裂强力 CV 值较大及 19.7 tex 线密度纱线相比 14.8 tex 线密度纱线增加范围小等问题,从而提高成纱质量。

2.9 纱线条干与毛羽测试与分析

纱线的条干和毛羽对后道织造工序的顺利进行及织物的外观质量好坏有着重要的影响。本次试纺的三种纱线的条干和毛羽测试数据见表 6。

表 6 三种纱线的条干和毛羽

Tab. 6 The evenness and hairiness of three kinds of yarn

纱线规格 / tex	条干 CV / %	毛羽 / (根 · km ⁻¹)	H 值
		-40% -50% +35% +50% +140% +200%	
14.8	12.44	138 80 101 50 21 9	3.70
19.7	11.29	66 20 90 30 0 0	3.74
29.6	11.88	85 50 86 42 11 0	3.68

由表 6 可以看出,14.8 tex 的纱线条干 CV 值为 12.44,比 19.7 tex 和 29.6 tex 的纱线 CV 值要稍

大,整体条干相对较差;另外对比三种纱线的毛羽根数指标,14.8 tex 的纱线质量也相对稍差;对比三种纱线的毛羽 H 值,基本接近 3.7 左右。所以可以分析,试纺的三种不同线密度的纱线,其条干均匀度基本相同,条干质量较好,其毛羽根数随着线密度的增加有着递减的趋势,故毛羽根数较少,而且三种纱线的毛羽 H 值也相差不大。但综合来看,三种纱线的性能指标表现良好,基本能够满足后道的织造要求。

3 结 论

1) 根据对纤维的微观形态观察、力学性能测试、比电阻测定及回潮率等测试可以分析,聚酰亚胺纤维具备优异的力学性能等良好的可纺性基本条件,但也存在回潮率过低、比电阻较大等问题需要解决。另外通过电镜实验观察到,聚酰亚胺纤维不规则的横截面及聚酰亚胺纤维优秀的热学性能,可以推测聚酰亚胺纤维在过滤器材中有很大的发展空间。

2) 纺纱过程中,一方面可以根据聚酰亚胺纤维与芳纶 1313 纤维的相似点参考芳纶 1313 纤维的纯纺工艺,另一方面上也要根据聚酰亚胺纤维自身独特的纤维特性,进行相应的纺纱前处理及对纺纱流程工艺参数进行改善,设计合理的纺纱工艺。

3) 根据试纺过程及对三种试纺纱线的测试数据统计,可以发现,聚酰亚胺纤维的纯纺纱线的相关性能指标已经能够满足后道织造要求,但依然存在着很多成纱质量的问题,所以还需要对整个纺纱工艺流程参数进行优化,进一步优化成纱质量。

参考文献:

- [1] 陈英韬,张清华. 聚酰亚胺纤维的制备与应用研究进展[J]. 高分子通报, 2013(10): 71-79.
CHEN Yingtao, ZHANG Qinghua. Progress on preparation and application of polyimide fibers [J]. Polymer Bulletin, 2013(10): 71-79.
- [2] 宋晓峰. 聚酰亚胺的研究与进展[J]. 纤维复合材料, 2007, 24(3): 33-37.
SONG Xiaofeng. Research and progress of polyimide [J]. Fiber Composites, 2007, 24(3): 33-37.
- [3] 张清华,陈大俊,丁孟贤. 聚酰亚胺纤维[J]. 高分子通报, 2001(5): 66-73.
ZHANG Qinghua, CHEN Dajun, DING Mengxian. Polyimide fibers [J]. Polymer Bulletin, 2001(5): 66-73.
- [4] 王肖杰. 基于聚酰亚胺纤维灭火防护服外层面料的设计与开发[J]. 上海: 东华大学, 2016.

- WANG Xiaojie. Design and Development of Exterior Fabric Based on Polyimide Fiber Fire Protection Protective Clothing [J]. Shanghai: Donghua University, 2016.
- [6] 尹朝清, 徐园, 张清华. 聚酰亚胺纤维及其阻燃特性 [J]. 纺织学报, 2012, 33(6): 116-120.
- YIN Zhaoqing, XU Yuan, ZHANG Qinghua. Polyimide fiber and its flame retardance [J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(6): 116-120.
- [7] 向红兵, 陈蕾, 胡祖明. 聚酰亚胺纤维及其纺丝工艺研究进展 [J]. 高分子通报, 2011(1): 40-50.
- XIANG Hongbing, CHEN Lei, HU Zuming. Research progress of polyimide fiber and its spinning technology [J]. Polymer Bulletin, 2011(1): 40-50.
- [8] 汪家铭. 聚酰亚胺纤维应用前景与发展建议 [J]. 化学工业, 2011, 29(12): 16-20.
- WANG Jiaming. Application and development of polyimide fiber [J]. Chemical Industry, 2011, 29(12): 16-20.
- [9] 左琴平, 林红, 陈宇岳. 聚酰亚胺纤维的开发及应用进展 [J]. 纺织导报, 2018(5): 60-63.
- ZUO Qinqing, LIN Hong, CHEN Yuyue. Progress in the development and application of polyimide fiber [J]. China Textile Leader, 2018(5): 60-63.
- [10] 佚名. 聚酰亚胺纤维除尘过滤材料将大显身手 [J]. 环球聚氨酯, 2015(12): 56.
- Anon. Dust filter material of polyimide fiber will show its talent [J]. Polyurethane, 2015(12): 56.
- [11] 李兵涛, 金平良, 柯勤飞. 一种耐高温水解的聚酰亚胺过滤材料的制备及其性能研究 [J]. 产业用纺织品, 2013, 31(1): 40-43.
- LI Bingtao, JIN Pingliang, KE Qinfei. Research on property and preparation of polyimide filtration material with high-temperature hydrolysis resistance [J]. Technical Textiles, 2013, 31(1): 40-43.
- [12] 付立凡, 谢春萍, 刘新金, 等. 聚酰亚胺纤维纺纱工艺研究 [J]. 棉纺织技术, 2017, 45(7): 45-47.
- FU Lifan, XIE Chunping, LIU Xinjin, et al. Study on polyimide fiber spinning process [J]. Cotton Textile Technology, 2017, 45(7): 45-47.