

## • 应用研究

# 聚酰亚胺纤维纺纱工艺研究与纱线性能分析

潘涛<sup>a</sup>, 江慧<sup>a</sup>, 傅婷<sup>a,b</sup>, 陈霞<sup>a,c</sup>, 汪军<sup>a,c</sup>

(东华大学 a. 纺织学院; b. 产业用纺织品教育部工程研究中心; c. 纺织面料技术教育部重点实验室, 上海 201620)

**摘要:**以长度为 38 mm 聚酰亚胺纤维为样本, 在分析聚酰亚胺纤维性能的基础上, 研究其纯纺纱及与粘胶纤维混纺纱的加工工艺。通过采用小机型、低转速的加工方式对比试验证明其纺纱开发的可行性; 采用与粘胶纤维条混方式成功纺制聚酰亚胺纤维含量为 21%~79% 的 4 种 18.2 tex 混纺纱, 并对纱线性能进行了测试。指出: 聚酰亚胺纤维具有优良的力学性能和低表面摩擦、低回潮性能和高比电阻的特点, 随着其含量的增大, 成纱条干不匀率和纱线毛羽呈增加趋势、纱线外观逐渐恶化、纱线断裂强度呈增长趋势, 并在聚酰亚胺含量占 42%~79% 时增长趋势明显; 混并至少配置三道, 并需保护好半制品熟条表面的油剂及工作辊的抗静电处理。

**关键词:**聚酰亚胺纤维; 粘胶纤维; 混纺纱; 条干不匀; 毛羽; 断裂强度

中图分类号: TS102.52

文献标志码: A

文章编号: 1001-9634(2015)04-0022-05

## Analysis of Polyimide Fiber Spinning Technology and Yarn Properties

PAN Tao<sup>a</sup>, JIANG Hui<sup>a</sup>, FU Ting<sup>a,b</sup>, CHEN Xia<sup>a,c</sup>, WANG Jun<sup>a,c</sup>

(Donghua University a. Textile College; b. the R&D Center of Industry Textiles Under the Educational Ministry; c. the Key Laboratory of Textile Fabrics Under the Educational Ministry, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** Sampling polyimide fiber with the length of 38 mm, analysis is done to the spinning process of pure yarn of polyimide fiber or the blended yarn with the viscose fiber. The application of the small models, processing methods of low speed tests prove the feasibility of the blending spinning development with viscose fiber with 4 kinds of 18.2 tex yarn with polyimide fiber content of 21%~79%. Conclusion is made that polyimide fiber has excellent mechanical properties and low moisture performance and high resistance, and low surface friction characteristics. As the content increases, yarn evenness and hairiness increase with yarn appearance gradually deteriorated and breaking strength growing. When the content of polyimide accounts for 42%~79%, the content growth is obvious. Something must be done to the three mixed configuration, antistatic agent and oil processing of semi-finished products and the work roll.

**Key Words:** polyimide fiber; viscose fiber; blended yarn; evenness; hairiness; breaking strength

聚酰亚胺是指主链上含有酰亚胺环(-CO-N

-CO-)基团的芳杂环高分子聚合物, 英文名为 polyimide, 简称“PI”, 是迄今为止耐热等级最高的高分子材料, 并成为当前高技术纤维中的重要品种之一。随着聚酰亚胺合成技术的提高、纤维纺纱技术的进步, 具有耐辐射性、耐高温性、高强度等优异综合性能的聚酰亚胺纤维产业化进程逐渐加快, 在

收稿日期: 2015-01-15

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助

作者简介: 潘涛(1990—), 男, 安徽芜湖人, 硕士研究生,

主要从事聚酰亚胺纤维的纺纱工艺与织物开发方面的研究。

航空航天、环保防火等领域中发挥着越来越重要的作用<sup>[1]</sup>。由于相关技术垄断,聚酰亚胺纤维的市场价格一直居高不下,这也是影响其服用及装饰用产品开发的主要原因。笔者以聚酰亚胺短纤、粘胶纤维为原料,对纤维纯纺和混纺的工艺进行研究,纺制了适合针织用的纱线,并对所得纱线进行了性能测试与分析。

## 1 纤维规格及性能测试

### 1.1 纤维规格

试验原料选用:长春高崎聚酰亚胺材料有限公司生产的铁纶<sup>®</sup>短纤维,规格为 1.67 dtex × 38 mm,颜色为金黄色;东华大学工程训练中心提供的

表 1 纤维原料的表面摩擦因数

聚酰亚胺纤维的摩擦因数						粘胶纤维的摩擦因数					
纤维—纤维		纤维—金属辊		纤维—橡胶辊		纤维—纤维		纤维—金属辊		纤维—橡胶辊	
静	动	静	动	静	动	静	动	静	动	静	动
0.276	0.261	0.553	0.400	0.345	0.330	0.312	0.288	0.473	0.380	0.412	0.376

表 2 纤维原料的纺纱相关性能

原料	断裂强度/(cN · dtex <sup>-1</sup> )	断裂伸长率/%	初始模量/(N · tex <sup>-1</sup> )	回潮率/%	体积比电阻/(Ω · cm)
聚酰亚胺纤维	4.08	22.16	6.7	1.06	3.24 × 10 <sup>12</sup>
粘胶纤维	1.51	14.54	4.2	12.6	1.76 × 10 <sup>7</sup>

由表 1 可知聚酰亚胺纤维的摩擦因数偏低,主要原因是:分子结构稳定,纤维表面光滑无损伤,外层包裹油剂减小了表面接触的面积。由表 2 可知聚酰亚胺纤维的各项力学性能均优于粘胶纤维,而其体积比电阻数量级达到 10<sup>12</sup>,而一般纤维的体积比电阻大于 10<sup>9</sup> Ω · cm 时就会影响可纺性<sup>[2]</sup>,这对纤维纺纱生产是非常不利的。

## 2 聚酰亚胺纤维纯纺工艺

为给聚酰亚胺纤维可纺性研究过程建立有效的对比,在纺聚酰亚胺纤维的工艺流程基础上跟踪加工粘胶纯纺纱。

### 2.1 开松、梳棉工序

聚酰亚胺纤维的来料整齐度好、杂质含量少,并且由于试纺试验用料较少,采用人工均匀开松纤维束不仅能够减少不必要的原料浪费,在确保充分开松的前提下对纤维的损伤也降到了最低。梳棉采用 AS181A 型梳棉试验机,适当增大刺辊—给棉板隔距,以缓和刺辊对纤维的抓取作用,遵循“轻定量、小张力、轻打多梳、低速度、快转移、中隔距”的工艺原则。梳理聚酰亚胺纤维时的锡林—盖板 5 点隔距为:0.25 mm,0.23 mm,0.20 mm,0.20 mm,0.23

常规粘胶纤维,规格为 1.80 dtex × 38 mm,颜色为纯白色。实验前将纤维试样放在恒温恒湿实验室 24 h 调节至平衡状态。

### 1.2 纤维性能测试

纺纱过程是纤维集合体间发生相对运动,不断分离和抱合的过程,纤维不仅会受到纺纱机件的拉伸弯曲作用,还会与接触的纤维、工作辊发生相对摩擦;因此,纤维的力学性质、表面摩擦性质是影响纺纱过程顺利进行的重要因素。此外,聚酰亚胺纤维作为化学合成纤维,它的回潮率和比电阻也是需要考虑的因素。在对纺纱工艺进行研究前,对纤维原料的力学性能、表面摩擦性能、标准回潮率和比电阻分别进行测试,所得结果如表 1 和表 2 所示。

mm,锡林转速为 200 r/min,刺辊转速 800 r/min,盖板线速为 100 mm/min,道夫转速为 14 r/min。为保证梳理的顺利进行和聚酰亚胺的成网质量,需要注意调节合适的环境湿度,对作用部件进行抗静电处理。梳理后得到的聚酰亚胺纤维生条定量为 13.8 g/(5 m),粘胶纤维生条定量为 15.5 g/(5 m)。

### 2.2 并条工序

并条采用 HAFJ-120 型单眼并条机。试验共进行两道合并,采用“紧隔距、重加压、慢速度、顺牵伸”的工艺原则,一方面增强罗拉和胶辊对纤维的握持作用、防止滑移;另一方面可改善条子中纤维的形态和均匀程度。牵伸配置为“头道小、二道大”,这有利于改善纤维的伸直情况,减少纤维的弯钩。经测量,输出聚酰亚胺纤维条子定量为 13 g/(5 m),粘胶纤维条子定量为 14.6 g/(5 m)。

### 2.3 粗纱工序

粗纱采用 FA498 型粗纱机。试验机为双短胶圈牵伸型式,主要问题是聚酰亚胺纤维缠绕胶辊、粗纱容易飘头,捻度较低还会出现松烂粗纱,致使粗纱管表面毛糙不光洁。因此,纺纱过程中需要适当加大胶辊压力、降低锭速、减小钳口隔距以及做好防静电工作,具体参数见表 3。

表 3 纯纺粗纱主要工艺参数

纯纺	捻度/(捻·(10 cm) <sup>-1</sup> )	前罗拉转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	罗拉中心距/ mm	总牵伸倍数	设计定量/ (g·(10 m) <sup>-1</sup> )	实测量/ (g·(10 m) <sup>-1</sup> )
聚酰亚胺	3.5	239	40×53×61	5.0	5.2	5.0
粘胶	3.5	239	40×53×61	5.5	5.3	5.6

## 2.4 细纱工序

细纱采用 DHU X-01 型细纱试验机。由于聚酰亚胺纤维具有较高的体积比电阻、较高的初始模量和偏低的摩擦因数,在纺纱过程中捻系数应偏大掌握<sup>[3]</sup>。为防止纤维缠绕胶辊,试纺采用“大隔距、小后区牵伸”的工艺原则,适当加大钳口握持力、降

表 4 纯纺细纱主要工艺参数

纯纺	粗纱定量/(g·(10 m) <sup>-1</sup> )	细纱号数/tex	捻系数	转速/(kr·min <sup>-1</sup> )	罗拉中心距/mm	后区牵伸倍数
聚酰亚胺	5.0	18.2	320	10	43×60	1.06
粘胶	5.6	18.2	320	10	43×60	1.06

## 2.5 纯纺纱线性能的测试与对比

将得到的纱线放置在恒温实验室内 24 h 后,测

表 5 纯纺纱线各项性能测试表

纯纺	毛羽指数/ (根·m <sup>-1</sup> )	条干不匀 CV/%	细节			断裂强度/ (cN·tex <sup>-1</sup> )	断裂强度 不匀 CV/%	断裂功/ (cN·mm <sup>-1</sup> )	伸长率/ %	伸长率 CV/%
			粗节	棉结	个·km <sup>-1</sup>					
聚酰亚胺	34.06	18.93	9.0	373	611	20.03	11.04	125.24	11.05	11.52
粘胶	13.17	15.73	20.5	490	380	11.18	9.56	64.57	10.41	11.78

注:本文默认毛羽指数为每米细纱表面不小于 3 mm 长的毛羽根数。

对比表 5 数据,可知聚酰亚胺纤维纯纺纱的力学性能比同样规格的粘胶纯纺纱要好,但是外观性能如毛羽指数、条干不匀率相比粘胶纤维要差。

综合来看,长度为 38 mm 的聚酰亚胺纤维具备一定的可纺性,试纺所得纱线的各项性能也相对稳定,为充分利用原料,聚酰亚胺纤维具备开发纱线和后续织造产品的可行性;但从纯纺工艺的研究过程看到,聚酰亚胺纯纺纱工艺中还需克服纤维静电大、抱合力差、加工效率低的难题。此外,聚酰亚胺纤维价格昂贵,单纯开发纯纺产品花费大且不实际,应在其纯纺工艺的基础上继续研究混纺工艺和混纺纱的质量。

## 3 聚酰亚胺混纺工艺

试纺聚酰亚胺/粘胶混纺比例如下的针织用纱线:21/79,42/58,58/42,79/21;纱线号数为 18.2 tex,捻系数为 320。由于混纺过程使用的机械与聚酰亚胺纯纺时大致相同,这里对于重复出现的要点不再赘述。

### 3.1 开松、梳理工序

混纺试验所需的纤维量少,同样采用人工开松

低转速、配合较大的细纱捻系数,以维持稳定的纱线性能。细纱试验机牵伸型式为常规罗拉牵伸,所用钢领型号为 PG1/2,钢丝圈为 C 型,上、下销钳口隔距为 4 mm。考虑到纺纱加工缺少严格的质量控制条件,将细纱设计为适宜针织用纱的参数,环锭细纱机的配置如表 4 所示。

试其性能,具体见表 5。

的方式对原料进行预处理。

由于粘胶纤维可纺性较好,为提高纺纱效率,使用 FA201 型梳棉机和 A272、F230 型双眼并条机对其进行加工。梳理粘胶纤维的锡林—盖板 5 点隔距分别为:0.25 mm,0.25 mm,0.23 mm,0.23 mm,0.25 mm;锡林转速为 330 r/min;刺辊转速 800 r/min;盖板线速为 129 mm/min;道夫转速为 10 r/min。经梳理得到的聚酰亚胺生条定量为 13.8 g/(5 m),粘胶纤维的生条定量为 16.5 g/(5 m)。

### 3.2 并条工序

混并采用三道并合,由于聚酰亚胺纤维和粘胶纤维的颜色差异大,并条过程中可以通过混色效果判断混合的程度。

### 3.3 粗纱工序

混纺过程中,需要做好防止聚酰亚胺纤维缠绕胶圈和胶辊问题的发生。

### 3.4 细纱工序

采用与聚酰亚胺纯纺相同的细纱试验机加工,考虑到后续需要与聚酰亚胺纤维纯纺纱进行性能对比,运行参数与表 4 相同。

## 4 混纺纱线性能的测试与分析

综合各比例的纱线性能数据见表 6。

表 6 各比例纱线性能测试表

聚酰胺纤维含量/ %	毛羽指数/ (根·m <sup>-1</sup> )	条干不匀 CV/ %	细节			断裂强度/ (cN·tex <sup>-1</sup> )	伸长率/ %
			粗节	棉结	个·km <sup>-1</sup>		
0	13.17	15.73	20.50	490	380	11.18	10.41
21	15.37	17.98	27.00	383	570	12.40	9.83
42	19.14	18.33	22.50	448	580	13.55	9.98
58	23.64	18.35	17.50	320	685	18.09	10.11
79	30.77	18.75	25.00	440	595	19.65	10.25
100	34.06	18.93	9.00	373	611	20.03	11.05

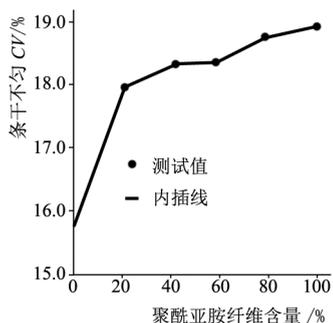


图 1 纱线条干不匀变化趋势

到达 42% 后则成纱条干保持稳定；随着聚酰胺纤维在混纺纱中含量增大，混纺纱的条干继续恶化。从原料差异上来看，实验采用的原料长度均为 38 mm，且长度整齐度好，线密度相差不大；两种纤维条混时，开始阶段粘胶纤维在纱截面占主导地位，其表面性能和优良的回潮决定其纺纱质量的稳定性；随着粘胶纤维含量逐渐减少而聚酰胺纤维含量逐渐增加，后者在混纺纱中作用越来越明显，纤维间由于静电和飞花的弊病致使伸直和抱和情况恶化，纱线的条干不匀就会继续上升。

### 4.2 纱线强度结果分析

图 2 为纱线断裂强度变化趋势，可看出：聚酰胺纤维的混入对粘胶纤维纱线强度有很大的改善，

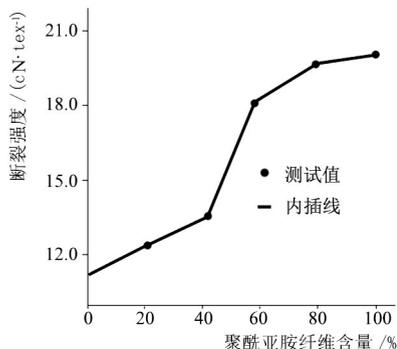


图 2 纱线断裂强度变化趋势

### 4.1 纱线条干不匀结果分析

图 1 为纱线条干不匀的变化趋势，可见混纺纱的条干随着聚酰胺纤维含量的增加逐渐变差，当

且在聚酰胺纤维含量达到 58% 时，强度明显增强，这说明高含量的聚酰胺纤维自身的优异强度和伸长性能，在混纺纱的强度方面已经处于主导地位；随着含量的增长，当聚酰胺纤维含量为 79% 时，混纺纱断裂强度增长已趋于平缓，整个断裂强度随聚酰胺纤维百分比变化一直呈正增长。

### 4.3 纱线毛羽结果分析

图 3 为纱线毛羽指数变化趋势，由图 3 可知：随

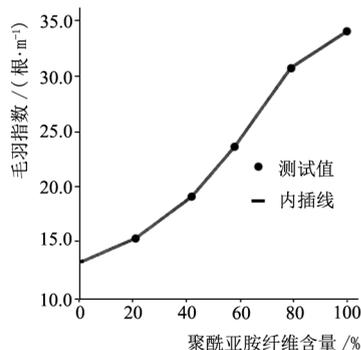


图 3 纱线毛羽指数变化趋势

着聚酰胺纤维含量增大，成纱毛羽越来越差，当聚酰胺纤维为 58%~79% 时，毛羽增长迅速，之后增速放缓。造成此现象的原因有如下几点。

a) 聚酰胺纤维的初始模量高于粘胶纤维，在加捻时如果获得相同的弯曲和扭转角，聚酰胺纤维的弯矩和扭矩较大，纤维离开前钳口更容易从纱体中挤出从而形成毛羽，这是生产过程中聚酰胺纤维容易形成毛羽的重要原因之一。另外，相关研究表明<sup>[4]</sup>，加捻卷绕过程中，较粗的纤维会较多的趋向纱线外层，细的纤维容易被挤进纱线的内层，细纤维包缠粗纤维，二者合并加捻形成稳定的结构形态。当聚酰胺纤维含量逐渐增大后，它在纱体中缠绕过程越来越复杂，位于纱条表面的纤维端会因模量较大而余留在外，也形成毛羽。

b) 聚酰亚胺纤维的动摩擦因数比粘胶小,在纺纱各道工序、尤其是细纱工序中,随着粘胶纤维的减少使纤维之间的抱合力降低,纤维间容易发生滑脱和二次转移,从而形成毛羽。

c) 聚酰亚胺纤维具有较高的体积比电阻,会使纤维间、纤维与机件间因摩擦而产生严重的静电,纤维间存在排斥作用力,从而恶化纤维的集束,使毛羽量增大。

## 5 结语

聚酰亚胺纤维具有优良的力学性能和低表面摩擦、低回潮性能和高比电阻的特点。采用小机型、低转速的加工方式,根据聚酰亚胺纤维的性能,通过与粘胶纤维加工过程的对比,研究了 18.2 tex 针织用纱的纯纺工艺。试纺发现,聚酰亚胺纯纺纱具备力学性能优良的特点;但是,其外观性能如纱线毛羽与粘胶纯纺纱相比要差。故为改善纱线性能、降低生产成本,笔者通过混并方式成功纺制出聚酰亚胺纤维含量为 21%~79% 的 4 种 18.2 tex 混纺纱。经

测试,随着聚酰亚胺纤维含量的增加,成纱条干不匀和纱线毛羽呈增加趋势、纱线断裂强度呈增长趋势,并在聚酰亚胺含量占 42%~79% 时的增长趋势明显。纺纱实践说明,聚酰亚胺纤维与粘胶纤维混纺工艺至少配置三道混并,才能使混纺熟条颜色均匀,从而改善成纱不匀;纺纱过程中,要注意保护好半制品熟条表面的油剂以及工作辊的抗静电处理,这样才能保证纺纱正常进行。

## 参考文献:

- [1] 汪家铭. 聚酰亚胺纤维应用前景与发展建议[J]. 济南纺织服装, 2011(3): 23-27.
- [2] 高绪珊, 童俨. 导电纤维及抗静电纤维[M]. 北京: 纺织工业出版社, 1991.
- [3] 曾汉民. 功能纤维[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 605-630.
- [4] 江慧, 张海霞, 劳继红, 等. 紧密纺涤棉混纺纱纤维径向分布测试分析[J]. 棉纺织技术, 2005, 33(1): 33-35.

(上接第 18 页)

表 4 生产工艺

齿条型号	线速度/(m·min <sup>-1</sup> )	高频电流/A	PAG 水溶液		回火高频	
			浓度/%	温度/℃	线圈规格/mm	电流/A
40-55 系列自锁	7	300~360	5~8	30~60	170×φ43×φ55×7 圈	110~150

### 3.7 经济效益分析

应用好富顿淬火油与 PAG 水溶性淬火液的成本对比: 每台车每月消耗的好富顿淬火油资金为 300 元, 而 PAG 水溶液为 95 元, 可见用水溶液的费用约为淬火油的 1/3, 则 10 台车每年可为企业节约 2.46 万元。

### 3.8 环境改善

采用 PAG 水溶液淬火过程中产生的油烟少, 车间环境得到很大改善; 而在以往采用油淬火时, 热处理厂房内到处浓烟弥漫, 尤其是油淬后工件上残留的油渍在高温下散发的黑烟不仅污染了环境、熏黑了厂房设备, 更对操作工的身体造成一定的伤害。PAG 水溶性淬火液的使用, 为我们创造了一个清洁、文明、健康的工作环境。

## 4 结论

4.1 PAG 水溶性淬火液可以替代油淬火, 生产总高 4.0 mm 以上的自锁基部齿条, 当 PAG 淬火液浓度为 5%~8%、温度为 30℃~60℃、回火电流

为 110 A~150 A 时, 硬度满足行业标准对齿条要求, 且淬火金相组织的晶粒度分布较均匀。

4.2 平均每月每台车消耗的 PAG 淬火液成本约为淬火油的 1/3, 直接给工厂带来了一定的经济和社会效益。

4.3 应用 PAG 聚合物水溶性淬火液, 实现了“以水代油、安全生产、无烟气排放”的效果, 在提高了产品质量的同时, 使车间环境得到明显改善, 根除了火灾隐患, 提高了产品质量, 具有广阔的推广前景。

## 参考文献:

- [1] 樊东黎. 美国热处理技术发展线路图概述[J]. 金属热处理, 2006, 22(1): 1-3.
- [2] 王庆红. PAG 水溶性淬火液在生产中应用[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2006, 16(5): 88-90.
- [3] JB/T 9211—2008 中碳钢与中碳合金结构钢马氏体等级[S].
- [4] 陈希原. PAG 淬火液的使用要点及维护管理[J]. 热处理, 2007, 22(4): 60-64.