

DOI: 10.19398/j.att.201804010

引用格式:张亚芳,徐伯俊,苏旭中,刘新金,吉宜军.石墨烯锦纶混纺纱产品开发及性能[J].现代纺织技术,2019,27(3):38-42.

# 石墨烯锦纶混纺纱产品开发及性能

张亚芳<sup>1</sup>,徐伯俊<sup>1</sup>,苏旭中<sup>1</sup>,刘新金<sup>1</sup>,吉宜军<sup>2</sup>

(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 226661)

**摘要:**为了开发石墨烯锦纶纱线,解决纺纱成卷困难问题,并找到与石墨烯锦纶混纺后成纱综合性能较优的纤维。采用相同纺纱设备、工艺参数和混纺比,试纺并对比 GN40/C60、GN40/B60 和 GN/30/C30/M30 纺纱各道工序的关键技术及成纱质量。发现用石墨烯改性的锦纶抗静电性增强,省去开清前抗静电剂处理。石墨烯锦纶存在纤维间抱合力小、成卷困难问题,可在开清工序混入 30%混纺纤维,并条工序调整并合比例使成纱达到预设的混纺比。石墨烯加入削弱纤维强度,需在粗纱和细纱工序将捻系数调大 10%左右,得到石墨烯锦纶与竹纤维混合时成纱综合性能效果最优。

**关键词:**石墨烯锦纶;混纺纤维;成卷;工艺调整;成纱性能对比

**中图分类号:**TS151.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-265X(2019)03-0038-05

## Development and Performance of Graphene Nylon Blended Yarn

ZHANG Yafang<sup>1</sup>, XU Bojun<sup>1</sup>, SU Xuzhong<sup>1</sup>, LIU Xinjin<sup>1</sup>, JI Yijun<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Science & Technology of Eco-Textile Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Nantong Double Great Textile Co., Ltd., Nantong 226661, China)

**Abstract:** In order to develop graphene nylon yarn, solve the problem of spinning into a roll and find out a fiber with better comprehensive performance after blending with graphene nylon, the same spinning equipment, process parameters and blending ratio were used to spin and compare the key technologies of various spinning processes and yarn quality of the GN40/C60, GN40/B60 and GN/30/C30/M30. It was found that the anti-static property of the nylon modified with graphene was enhanced, and the antistatic agent treatment before opening was omitted. Graphene nylon has the problems that the cohesion between fibers is small and the rolling is difficult. 30% blended fiber can be mixed in the opening process, and the drawing process can be adjusted and proportioned to make the yarn reach the preset blending ratio. The addition of graphene weakens the fiber strength, and the twist coefficient need to increase by about 10% in the roving and spun yarn processes. Under such conditions, the comprehensive performance of the yarn is optimal when the graphene nylon and bamboo are mixed.

**Key words:** graphene nylon; blended fiber; rolling; process adjustment; yarn performance comparison

收稿日期:2018-04-11 网络出版日期:2018-11-12

**基金项目:**江苏省自然科学基金(BK20170169);宿迁市科技支撑项目(H201607,H201602);江苏省产学研项目(BY2016022-27);江苏省先进纺织工程技术中心基金项目(XJFZ/2016/4);纺织服装产业河南省协同创新项目(hnfx14002);中央高校基本科研业务费专项资金资助(JUSRP51731B);新疆维吾尔自治区重点研发专项(2017B02011);武汉纺织大学开放课题(ZDSYS201701,GCSYS201701)

**作者简介:**张亚芳(1991-),女,山西吕梁人,硕士研究生,主要从事纺织品回收利用方面的研究。

**通信作者:**徐伯俊,E-mail:wxxbj@sina.com

石墨烯在纺织领域的应用显示出较大的优越性,可以提升纤维断裂强度,使纺织品具有很强的抗菌性<sup>[1]</sup>。石墨烯锦纶可与棉、竹、莫代尔等纤维混和纺纱,使纤维特性得到优化与互补,织成的面料具有石墨烯的优良特性,同时耐磨保形、穿着舒适。为了提高纱线的可纺性,提高成纱质量,纺纱过程中需要注意一些问题。

a) 石墨烯片层内部极强的作用力削弱了两根石墨烯改性锦纶纤维间作用力<sup>[2]</sup>,使纤维表面摩擦系数小、抱合力差。这不仅关系其后道加工能否顺利进行,影响其成纱质量,而且还会阻碍石墨烯锦纶纺织品的开发以及产业化生产。

b) 成卷困难。梳棉工序缠锡林、缠道夫、棉网飘逸不能剥取。

c) 并丝、硬丝带来的颜色斑点。虽然石墨烯锦纶纤维是化学纤维,但是也夹杂着一些并丝、硬丝,需要及时去除,否则染色后在织物上易出现颜色斑点<sup>[3]</sup>。

d) 并条、粗纱工序堵塞圈条斜管、绕皮辊、绕罗

拉,纱线毛羽、断头增多。

以原位聚合尼龙 6 切片为原料,采用预制母粒工艺,将氧化石墨烯均匀分散在聚酰胺切片中,得到氧化石墨烯含量为 2.5% 的石墨烯锦纶改性聚酰胺纤维。石墨烯锦纶纤维在与其他纤维混纺时,参与混纺的另一种纤维种类对混纺纱的可纺性、成纱质量、生产成本及后续的清理工序都有很大影响。将石墨烯锦纶纤维与棉、竹、莫代尔/棉 3 种不同种类纤维(以下简称 X,其中 GN 代表石墨烯锦纶、N 代表锦纶、C 代表棉、B 代表竹、M 代表莫代尔)进行纺纱试验,探讨并对比石墨烯锦纶/棉、石墨烯锦纶/竹纤维、石墨烯锦纶/莫代尔/棉 3 种混纺纱的纺纱工艺和成纱的质量。

## 1 试验前准备

### 1.1 纤维性能测定

所用各类纤维的基本性能如表 1 所示。

表 1 各类纤维的物理机械性能

纤维种类	断裂强度/ (cN · dtex <sup>-1</sup> )	断裂强力 不匀率/%	断裂伸 长率/%	回潮率 /%	体积比电阻/ (Ω · cm)	平均长度 /mm	线密度 /dtex
锦纶	4.49	19.4	8.2	4.5	2.1 × 10 <sup>7</sup>	37	1.77
石墨烯锦纶	3.90	17.38	23.28	4.58	8.3 × 10 <sup>5</sup>	37	1.92
棉	2.74	16.7	6.1	8.5	1.2 × 10 <sup>6</sup>	29.5	1.55
竹	2.29	15.1	24.2	12.8	—	37.9	1.31
莫代尔	3.71	13.77	23.45	10.0	—	37.3	1.31

由表 1 可知,石墨烯锦纶纤维的力学性能比普通锦纶纤维的稍差,这是由于生物质石墨烯分散在锦纶纤维中,增加了纤维中的空隙,削弱了纤维的纵向力学性能。但比电阻明显比普通锦纶的小,这是石墨烯导电性好的缘故。其他几种纤维,断裂强度:石墨烯锦纶>莫代尔>棉>竹;断裂强力不匀率:石墨烯锦纶>棉>竹>莫代尔;断裂伸长率:石墨烯锦纶>竹>莫代尔>棉。回潮率:竹>莫代尔>棉>石墨烯锦纶;比电阻:石墨烯锦纶>棉;平均长度:竹>莫代尔>石墨烯锦纶>棉;线密度:石墨烯锦纶>棉>竹>莫代尔。

### 1.2 纺纱方案及工艺流程

将锦纶/棉、石墨烯锦纶/棉、石墨烯锦纶/竹、石墨烯锦纶/棉/莫代尔采用三罗拉网格圈型紧密赛络纺<sup>[4]</sup>法纺 14.8 tex、混纺比均为 40/60 的混纺纱。试验使用的设备如下,纺纱工艺流程如图 1 所示。

纺纱所用机型:FA002C 型抓棉机→FA035B 型混棉机→FA106A 型开棉机→FA161 型给棉机→

AO76E 型成卷机→FA201B 型梳棉机→JWF1310 型并条机(三道并条)→JWF1415 型粗纱机→EJM128K 型细纱机→AUTOCONER X5 型自动络筒机。



图 1 纺纱工艺流程

## 2 纺纱关键技术

纺纱的实践表明,在棉纺紧密赛络系统设备上,经过调整纺纱方案和工艺,纺纱能够顺利进行。各工序影响纺纱顺利进行及产品质量的一些主要因素如下。

### 2.1 开清

在进行混纺时发现,石墨烯的添加改善了锦纶纤维的抗静电性,但石墨烯锦纶纤维蓬松,纤维间摩

擦系数小,纤维表面光滑,单独成条较为困难,在成卷时,由于纤维与纤维间的抱合力小,不易成卷,即使勉强成卷,在梳棉工序退卷也很困难,层与层之间粘连不清晰<sup>[5]</sup>。为解决这些问题,笔者提出 3 个解决方案。方案一:石墨烯锦纶和 X 纤维分别单独加工成条,在并条工序混合至成纱;方案二:石墨烯锦纶和 X 纤维在清花工序完全人工混合至成纱;方案三:石墨烯锦纶和 X 纤维在清花工序部分人工混合生产,制成的混合生条与精梳棉在并条工序混合至成纱。通过对这 3 个方案进行试验,最后得出:进行 GN/C 40/60、GN/C/M 40 /30/30 纺纱时,方案三效果最优,配棉工序混合比例分别在(30±1)%和(17.8±1)%范围内。在进行 GN/B 40/ 60 混纺时,采用方案二能够改善石墨烯锦纶纤可纺性,且效果最优。各类混纺纱配棉比例如表 2 所示。

表 2 配棉比例

混纺种类	N/C	GN/C	GN/B	GN/M/JC
比例	65/35	70/30	40/60	47/35.2/17.8

## 2.2 梳 棉

石墨烯锦纶纤维的主体是锦纶,石墨烯锦纶/X 混纺的梳棉工艺和设备的调整应基于加工锦纶纤维的特点。在纺锦纶纱线的基础上探索纺石墨烯锦纶/X 混纺的梳棉工艺。由于刺辊速度、锡林速度及锡林盖板隔距等为梳棉重要工艺参数,且对生条棉结有重要影响,采用正交试验,列出 3 因素 3 因子水平表,并结合试验数据处理分析,找出减少石墨烯锦纶与棉纤维混合生条的最佳参数<sup>[5]</sup>。制得的混和条干定量为 21.5 g/5m,棉网清晰,生条棉结≤12 粒/g。梳棉工艺正交试验如表 3 所示。

表 3 梳棉正交试验方案

试验号	A 刺辊速度/ (r·min <sup>-1</sup> )	B 锡林速度/ (r·min <sup>-1</sup> )	C 锡林与盖板隔距/mm	生条棉结数/ (粒·g <sup>-1</sup> )
1 水平	800	330	0.203 2,0.177 8,0.152 4,0.152 4,0.177 8	
2 水平	850	360	0.228 6,0.203 2,0.177 8,0.177 8,0.203 2	
3 水平	930	390	0.254,0.228 6,0.203 2,0.203 2,0.177 8	
1	1	1	1	16
2	1	2	2	12
3	1	3	3	18
4	2	1	2	12
5	2	2	3	14
6	2	3	1	20
7	3	1	3	18
8	3	2	1	16
9	3	3	2	18

根据试验方案调整参数进行梳棉,生条定量均为 21.5 g/5 m,将输出生条用条干测试仪进行测试得到生条棉结数。由表 3 可看出,试验号 2、4 手拣疵点含量较少。采用极差分析法对正交试验所得的结果进一步分析,第一步是要求出各水平间极差,第二步是根据极差大小对各因素影响程度进行排序,最后确定在该指标下的最优工艺方案。在相同情况下棉结可以间接反映梳棉生条中的疵点含量,计算结果如表 4 所示。

表 4 各因素棉结含量之和与极差

水平 1	水平 2	水平 3	水平 1/3	水平 2/3	水平 3/3	极差 R
46	46	52	15.3	15.3	17.3	2
46	42	56	15.3	14	18.7	2.4
52	42	48	17.3	14	16	3.3

由实验得出,最好水平组合是 A1、B2、C2,即刺辊速度 800 r/min,锡林速度 360 r/min,锡林与盖板隔距 0.228 6,0.203 2,0.177 8,0.177 8,0.203 2 mm。对梳棉工艺进行 A1、B2、C2 组合调整,并对所得的生条棉结测试,得到生条棉结含量为 10 粒/g,小于 12 粒/g,取得了预期效果。

## 2.3 并 条

并条工序是实现纱线混合、达到预期混纺比以及改善条干的关键。表 5 列出了要得到 GN40/C60、GN40/B60、GN40/M30/C30 的混纺纱,在并条阶段(分为预并,头道,二道,末道)各关键工艺参数的设置。

设置并条工序罗拉隔距为 10 mm×16 mm,出条速度为 260 r/min。在并条阶段,头道并入其他条子时,并和比例的分配是影响最后能否实现预定成

表 5 并条工序关键工艺参数的设置

工艺参数	预并			头道			二道			末道		
	GN/C	GN/B	N/C/M	N/C	N/B	N/C/M	N/C	N/B	N/C/M	N/C	N/B	N/C/M
	6	—	6	3JC+ 2GN/C	6 并	4GN/C/ M+1JC	6 并	6 并	6 并	6 并	6 并	6 并
牵伸倍数	5.857	\	5.857	5.088	5.088	5.088	6.407	6.407	6.407	6.512	6.512	6.512
定量/(g·(5m) <sup>-1</sup> )	22.2	22.1	22.3	21	20.8	21.1	20.1	20	20.3	18.5	18.6	18.5
条干 CV%	3.95	3.22	3.38	4.36	3.34	3.68	4.02	2.88	3.4	3.16	2.77	2.61

纱比例的关键<sup>[6]</sup>, 经多次试纺, 得出 3 种混纺类型并合数分配方式分别为 3JC+2GN/C、6 并、4GN/C/M+1JC 时, 能得到最后 GN40/C60、GN40/B60、GN40/M30/C30 的混纺纱。通过对条干 CV% 的分析可知, 在并条工序中, 当并条工序工艺参数相同时, 石墨烯锦纶纤维与 X 混纺, 各道工序条干 CV% 均为 GN/C 最大, GN/C/M 其次, GN/B 最小。

### 2.4 粗 纱

由于石墨烯的加入削弱了石墨烯锦纶纤维的强度<sup>[7]</sup>, 且石墨烯锦纶纤维间抱合力差, 所以粗纱的捻系数需调大 10% 左右, 这里分别设为 GN/C 53.3, GN/B 46.47, GN/C/M 51.788。得到的粗纱退绕无断头, 细纱牵伸无硬头, 条干 CV≤16。粗纱各关键工艺参数如表 6 所示。

表 6 粗纱工序关键工艺参数

工艺	钳口隔距/mm	钳口隔距/mm	锭子转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	前罗拉转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	牵伸倍数	定量/(g·10 m <sup>-1</sup> )
参数	12×28×35	6.5	950	215	11.67	3.2

### 2.5 细 纱

采用三罗拉网格圈型紧密赛络纺相结合的纺纱方法, 如图 2 所示。细纱罗拉隔距设为 18、35 mm, 锭子转速 14 000 r/min, 前罗拉转速 191 r/min, 尽

量减小牵伸不匀。罗拉加压应加大。细纱捻系数应调大 10% 左右, 设为 358, 以保证成纱强力, 减少断头。将成纱织成平方米质量为 155 g/m<sup>2</sup> 的相同规格的针织物, 经测试, 各项织物手感风格良好。

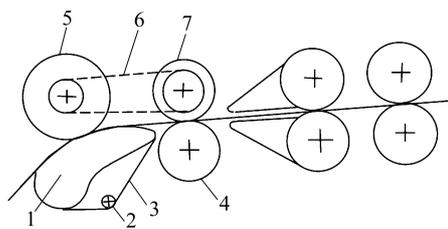
### 2.6 络 筒

石墨烯锦纶纤维混纺纱强力偏低, 必须减小络纱张力。槽筒速度偏低, 本次设为 800 m/min。合理设定空气捻接器参数<sup>[7]</sup>, 控制好捻接头质量, 合理设定电子清纱参数, 确保有害疵疵被有效清除。

## 3 成纱质量分析

### 3.1 成纱条干分析

条干 CV%、毛羽含量、粗细节与混纺种类的关系如表 7 所示。



1. 异性吸风管; 2. 撑杆; 3. 网格圈; 4. 前罗拉;  
5. 输出皮辊; 6. 传动件; 7. 前皮棍

图 2 三罗拉网格圈型紧密赛络纺示意

表 7 成纱条干不匀、毛羽含量、粗细节与混纺种类的关系

混纺种类	条干 CV%	H 值	-40%	-50%	35%	140%
N40/C60	16.47	3.3	723.3	60.8	1404	1277
GN40/C60	14.33	3.51	328.3	15.5	751	542.8
GN40/B60	12.47	3.13	98.5	2.5	197	121
GN40/M30/C30	13.23	3.48	155	0.2	447.8	428.9

由表 7 可知,相同混纺比和工艺下,与普通锦纶混纺纱相比,石墨烯改性锦纶混纺纱改善了成纱的条干。主要原因是石墨烯的高导电率增加了纤维间的抱合<sup>[8]</sup>,纺纱过程中产生的纱疵少,成纱条干均匀度好。石墨烯锦纶纤维与 X 混纺,成纱 CV% 为 GN/C 的条干 CV% 最大,GN/C/M 的其次,GN/B 最小。主要原因是棉纤维为天然纤维,所含杂质较多,纤维间差异较大,在纺纱各道工序中,造成条干不匀、毛羽增多的几率较大,成纱条干均匀度较差,毛羽含量较多<sup>[9]</sup>。而竹纤维、莫代尔和石墨烯锦纶纤维都属合成纤维,纤维所含杂质少,纤维长度较长,长度整齐度较好,纤维间差异较小,造成条干不匀、毛羽增多的几率较小。

### 3.2 成纱强伸性能分析

成纱强伸性能与混纺种类的关系如表 8 所示。

表 8 成纱强度、伸长率与混纺种类的关系

混纺种类	单强/cN	强度/(cN·tex <sup>-1</sup> )	伸长率/%
N40/C60	187.3	12.21	10.74
GN40/C60	173.2	11.78	5.7
GN40/B60	194.1	12.52	7.35
GN40/M30/C30	214	14.46	14.44

由表 8 可知,石墨烯改性锦纶纤维混纺纱的力学性能比普通锦纶纤维混纺纱的力学性能差,这是石墨烯的加入削弱了锦纶强力造成的<sup>[10]</sup>。GN/C/M 的成纱的力学性能最好,GN/B 次之,GN/C 最差。原因是纱线力学性能与纤维本身的力学性能有关<sup>[11]</sup>,由表 1 可知,参与混纺的 3 种纤维中,竹纤维的力学性能最差,棉纤维的其次,但仅为竹纤维的 1.2 倍,莫代尔的力学性能最好,且是竹纤维的 1.7 倍。而在成纱强力中,GN/C 的成纱的力学性能最差,GN/B 的力学性能相对增大,GN/C/M 的成纱力学性能最好,为 GN/B 的 1.1 倍。说明石墨烯锦纶与莫代尔/棉纤维混纺,成纱力学性能效果最优。

## 4 结 语

a) 石墨烯改性锦纶纤维存在纤维表面蓬松光滑,抱合力小,成卷困难的问题。可在开清工序混入 17.8% 左右的 X 纤维,在混并工序以调整对应的并合数与并合比例,使成纱达到 GN/X 40/60 的混纺比。

b) 采用正交试验,列出 3 因素 3 因子水平表,并

结合试验数据处理分析,找出减少石墨烯锦纶与 X 纤维混合生条疵点的最佳参数。得出,最好水平组合是刺辊速度 800 r/min,锡林速度 360 r/min,锡林与盖板隔距 0.228 6, 0.203 2, 0.177 8, 0.177 8, 0.203 2 mm。并条工序 3 种混纺类型并合数分配方式分别为 3JC+2GN/C、6 并、4GN/C/M+1JC 时,能得到最后 GN40/C60、GN40/B60、GN40/M30/C30 比例的混纺纱。

c) 石墨烯的加入削弱了石墨烯锦纶的强度,且为防止意外牵伸带来的粗纱条干不匀,需在粗纱工序将捻系数调大 10% 左右;牵伸倍数要减小为 11.67,钳口隔距设为 6.5 mm 来控制浮游纤维,降低条干不匀;前罗拉转速提高为 215 r/min,来提高生产效率。参与混纺的三种纤维中,石墨烯锦纶与莫代尔/棉混合时成纱条干和机械性能效果最优。

### 参考文献:

- [1] 曲丽君,田明伟,迟淑丽,等.部分石墨烯复合纤维与制品的研发[J].纺织学报,2016,37(10):170-177.
- [2] YANG C Q, MAO Z O, LICKFIELD G C. Ester crosslinking of cotton cellulose by polycarboxylic acids: pH-dependency [J]. Textile Chemist & Colorist & American Dyestuff Reporter, 2000,32(11):43-46.
- [3] KREST'YANINOV M A, TITOVA A G, ZAICHIKOV A M. Intra-and intermolecular hydrogen bonds in ethylene glycol, monoethanolamine and ethylenediamine [J]. Russian Journal of Physical Chemistry A, 2014, 88 (12):2114-2120.
- [4] 鲁礼凡. 网格圈型紧密赛络纺的集聚机理及关键部件的研究[D]. 上海:东华大学,2013.
- [5] 欧怀林. 改进开清棉流程的体会[J]. 棉纺织技术, 2012, 40(11):34-36.
- [6] 江苏华力索菲新材料有限公司. 石墨烯锦纶纤维的制备方法:中国,CN201610888499.3[P]. 2017-03-15.
- [7] 牛方. 化纤品牌潮来袭:他们凭什么“弄潮”[J]. 中国纺织, 2017(4):64-66.
- [8] 吴震宇,陈小天,石鹏飞,等. 采用响应曲面法的纱线空气捻接参数优化[J]. 纺织学报, 2016, 37(1):41-46.
- [9] 黄兴山. 美国 Innegritiy 公司研制成功新型高性能纤维—Innegra 纤维[J]. 合成技术及应用, 2010, 25(2):18.
- [10] TITOV A V, KRÁL P, PEARSON R. Sandwiched graphene-membrane superstructures [J]. Acs Nano, 2010, 4(1):229-234.
- [11] SUN B, SHI T, LIU Z, et al. Large-area flexible photodetector based on atomically thin MoS<sub>2</sub>/graphene film[J]. Materials & Design, 2018, 154(9):1-7.