

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.12.010

熔纺PE/PP复合超细FDY丝的制备工艺

毛加冲¹,任天翔^{1,2,3,4},许志强⁵,葛烨倩^{1,2,3,4},徐煜东⁶,马金星⁷,赵德方^{1,2,3,4,8,9},占海华^{1,2,3,4}

(1.绍兴文理学院纺织服装学院,浙江绍兴 312000; 2.浙江省清洁染整重点实验室,浙江绍兴 312000; 3.国家碳纤维工程技术研究中心浙江分中心,浙江绍兴 312000; 4.纤维基复合材料国家工程研究中心绍兴分中心,浙江绍兴 312000;
5.凯泰特种纤维科技有限公司,浙江绍兴 312000; 6.浙江省现代纺织技术创新中心,浙江绍兴 312000;
7.绍兴水乡纺织科技有限公司,浙江绍兴 312000; 8.浙江大学材料科学与工程学院,浙江杭州 310058;
9.海亮集团有限公司,浙江杭州 310000)

摘要:采用聚乙烯(PE)和聚丙烯(PP)切片为原料,使用双螺杆挤出机并配以特定的纺丝组件,通过双组分熔体复合纺丝法成功制备了PE/PP皮芯型复合超细全拉伸丝(FDY丝)。为获得高质量的超细FDY丝,对纺丝工艺条件进行了探讨与优化,确定了干燥条件、螺杆温度、纺丝温度、牵伸温度、牵伸倍数、定型温度、卷绕速度等主要工艺参数;并对FDY丝的取向度、力学性能、线密度进行了测试分析研究。结果表明:当PE(皮层)与PP(芯层)质量配比为40:60时,光学显微镜下复合纤维横的截面形态能呈现出完整且均匀的皮芯型结构;当PE螺杆挤出机各区温度为202,206,206,206,206℃,PP螺杆挤出机各区温度为258,260,260,260,260℃,PE纺丝箱体温度为206℃,PP纺丝箱体温度为248℃时,复合纤维纺丝过程稳定且纤维成型良好;当牵伸温度为60℃、牵伸倍数为4.15倍、定型温度为105℃、卷绕速度为3 200 m/min时,FDY丝的可纺性、取向度以及力学性能良好。在最佳纺丝工艺条件下制备的规格为144 dtex/288 f皮芯型复合超细FDY丝能够满足超细纤维对直径和力学性能的要求。

关键词:聚乙烯;聚丙烯;皮芯型复合超细FDY丝;纺丝工艺条件;可纺性

中图分类号: TQ342+.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)12-0058-06

The Preparation Process of Melt-Spun PE/PP Composite Ultrafine FDY Filament

Mao Jiachong¹, Ren Tianxiang^{1,2,3,4}, Xu Zhiqiang⁵, Ge Yeqian^{1,2,3,4}, Xu Yudong⁶, Ma Jinxing⁷, Zhao Defang^{1,2,3,4,8,9}, Zhan Haihua^{1,2,3,4}

(1. College of Textile and Garment, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China; 2. Key Laboratory of Clean Dyeing and Finishing Technology of Zhejiang Province, Shaoxing 312000, China; 3. Zhejiang Sub-center of National Carbon Fiber Engineering Technology Research Center, Shaoxing 312000, China; 4. Shaoxing Sub-center of National Engineering Research Center for Fiber-based Composites, Shaoxing 312000, China; 5. CTA High-tech Fiber Co., Ltd., Shaoxing 312000, China; 6. Zhejiang Provincial Innovation Center of Advanced Textile Technology, Shaoxing 312000, China; 7. Shaoxing Shuixiang Textile Technology Co., Ltd., Shaoxing 312000, China; 8. School of Materials Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 9. Hailiang Group Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract : Using polyethylene (PE) and polypropylene (PP) chips resined as raw materials, the PE/PP sheath-core composite ultrafine fully drawn yarn (FDY) was successfully prepared by the dual-component melt composite spinning method, utilizing a twin-screw extruder and specific spinning components. In order to obtain high-quality ultrafine FDY, the spinning process conditions were explored and optimized, including drying conditions, screw temperatures, spinning temperatures, stretching temperatures, stretching ratios, setting temperatures, and winding speeds. Furthermore, the orientation degree, mechanical properties, and linear density of the FDY yarn were tested and analyzed. The results show that when the PE (sheath) to PP (core) ratio is 40:60, the cross-sectional morphology of the composite fiber under an optical microscope exhibits a complete and uniform sheath-core structure. The

基金项目: 浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划项目(2022C01166),绍兴市“揭榜挂帅”制科技项目(2021B41003),绍兴市技术创新计划项目(2019B22002),浙江省大学生科技创新项目(2021R432020)

通信作者: 赵德方,副教授,主要从事差别化纤维与功能纤维的开发与应用研究

收稿日期: 2023-10-27

引用格式: 毛加冲,任天翔,许志强,等.熔纺PE/PP复合超细FDY丝的制备工艺[J].工程塑料应用,2023,51(12):58-63.

Mao Jiachong, Ren Tianxiang, Xu Zhiqiang, et al. The Preparation Process of Melt-Spun PE/PP Composite Ultrafine FDY Filament[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(12): 58-63.

spinning process of the composite fiber is stable and the fiber formation is excellent when the PE screw temperatures are set to 202, 206, 206, 206, 206 °C, the PP screw temperatures are set to 258, 260, 260, 260, 260 °C, the PE spinning box temperature is set to 206 °C, and the PP spinning box temperature is set to 248 °C. Moreover, the FDY yarn exhibits good spinnability, orientation degree, and mechanical properties when the stretching temperature is 60 °C, stretching ratio is 4.15 times, setting temperature is 105 °C, and winding speed is 3200 m/min. The specifications of the sheath-core composite ultrafine FDY yarn prepared under the optimal spinning conditions are 144 dtex/288 f, meeting the requirements for diameter and mechanical properties of ultrafine fibers.

Keywords : polyethylene ; polypropylene ; skin-core type composite ultrafine FDY filament ; spinning process condition ; spinnability

随着经济与科技的迅速发展,新能源汽车正逐渐走进人们的日常生活,其产生与发展不仅缓解了由于二氧化碳、固体悬浮颗粒排放产生的温室效应、雾霾等环境问题,还减少了石油等不可再生资源的消耗^[1]。因此,新能源汽车的技术研发和产业化得到了广泛的关注。动力电池作为新能源汽车的关键零部件之一,其蓄电能力、安全性等指标成为当下研究的重点。镍氢电池是由镍镉电池发展而来的一种新型绿色环保电池,其能量密度和安全性都有大幅提升^[2]。电池隔膜作为电池的“第三电极”,其作用是疏导电解液中的离子,并防止正负极接触导致的短路故障,提高电池寿命^[3-4]。电池隔膜需具有良好的力学性能、化学稳定性、亲水性和保液性,是具有一定技术壁垒的高附加值材料^[5]。

超细纤维是指单丝线密度在0.1~1.0 dtex的差别化纤维,最早于1970年由日本钟纺、可乐丽等公司采用复合纺丝技术研制成功^[6],其纤维结构主要有皮芯型、一字型、橘瓣型、米字型、齿轮型、海岛型等^[7-8]。近年来,超细纤维在电池隔膜制造领域的研究受到了广泛的关注,这是因为超细纤维所特有的尺寸效应可以有效缓解纤维分散不均匀导致的隔膜性能下降的问题,并且超细纤维制备的层状膜具有更高的孔隙率和优异的离子电导率。镍氢电池隔膜的原料主要包括聚乙烯纤维(PE)、聚丙烯纤维(PP)以及PE/PP复合纤维(ES纤维)。通过湿法工艺制备的镍氢电池隔膜具有良好的力学性能、保液性和捕氢作用,然而由于PE纤维和PP纤维大分子链中缺少极性基团,亲水性较差,在水中的分散较为困难,所以其关键技术之一则在于提高纤维成网时的均匀分散性^[9]。鉴于此,科研人员探索通过工艺优化、添加消泡剂或分散剂、纤维亲水改性等方法来提高其成膜性能。胡欣欣等^[10]采用浓硫酸分别对ES纤维和PP纤维进行磺化处理,然后采用湿法抄造成网、热压工艺成功制备了无纺布基材。孔德康

等^[11]采用亲水性物质氧化石墨烯与PE纤维制备的复合纤维作为皮层并以PP作为芯层,通过复合纺丝获得了改性PE/PP复合纤维。然而,采用超细纤维来改善镍氢电池隔膜制备中纤维均匀分散问题的研究还相对较少,针对PE/PP复合超细纤维的纺丝工艺及其工艺参数对纤维结构与性能的影响也缺少有关基础研究。

因此,笔者采用熔体复合纺丝法制备PE/PP超细皮芯复合全拉伸丝(FDY丝),以获得高质量的超细FDY丝为目标,对影响纤维可纺性和纺丝性能的因素,如干燥条件、螺杆温度、纺丝温度、牵伸温度、牵伸倍数、定型温度、卷绕速度等工艺参数进行了探讨,并对复合纤维的取向度和力学性能进行了分析,以期对PE/PP超细复合纤维的制备提供一定的借鉴与参考。

1 实验部分

1.1 主要原材料

高密度聚乙烯(PE-HD):2911,密度为0.773 g/cm³,浙江凯泰特种纤维科技有限公司;

聚丙烯(PP):PP36,密度为0.771 g/cm³,浙江凯泰特种纤维科技有限公司。

1.2 主要仪器及设备

双锥回转真空干燥机:SZG型,常州凯航干燥有限公司;

双螺杆挤出机:SHJ-20型,南京翰易机械电子有限公司;

电子强力机:YG021 A-Ⅲ型,温州方圆仪器有限公司;

纤维取向度测量仪:SCY-IV型,上海凯历迪新材料科技股份有限公司。

1.3 PP/PE皮芯型复合超细纤维的制备

采用真空干燥机对两种原料进行干燥,将含水率达到要求的切片送至各自的螺杆挤出机熔融挤压,通过不同纺丝管道输送后各自进入纺丝箱的计

量泵中,在纺丝组件内复合成皮芯型结构截面,PE在外,PP在内,最后从喷丝板喷出,经侧吹风冷却凝固成复合纤维,经上油、预拉伸、拉伸、热定型等工序,最后卷绕成筒制得皮芯型复合超细纤维。其工艺流程及工艺参数如图1所示,其中 GR_1 , GR_2 分别为第一热辊、第二热辊。

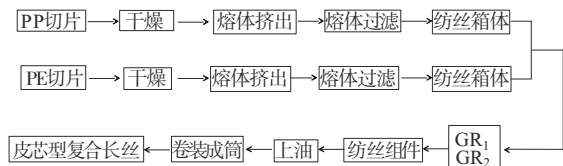


图1 PE/PP皮芯型超细复合长丝制备工艺流程示意图

1.4 性能测试

(1)力学性能测试。根据GB/T 3916-1997测定纤维的力学性能,采用YG021 A-Ⅲ电子强力机测试长丝的拉伸性能,设置隔距长度500 mm,拉伸速度250 mm/min,预加张力0.5 cN,测量20组数据取平均值。

(2)取向度测试。采用SCY-IV纤维取向度测量仪,对同一样品选取5个不同位置进行取向度测试,声频设置为2 000 Hz,隔距设置为40 cm,预加张力设置为0.05 cN/dtex,丝条未取向时的声传播速度Cu设置为1.35 km/s,测量10组数据取平均值。

(3)线密度测试。根据GB/T 14343-2008测定复合长丝的线密度,采用测长称重法进行测试。

2 结果与分析

2.1 原料干燥工艺

对于常规纤维纺丝而言,由于PE,PP分子链中存在非极性基团,通常无须进行干燥处理,但对于生产超细纤维来说,切片的含水率对纤维的可纺性有着较大的影响。PE切片极低的含水率能够满足纺丝要求,但PP切片需要经过干燥处理。经试验得出:PP切片干燥温度为70℃、干燥时间为3~4 h时,含水率可以控制在0.004 6%左右,能够满足纺丝要求。

2.2 熔融工艺

(1)螺杆温度。

螺杆温度是使得高聚物充分熔融的决定性条件,对后道的纺丝生产有着重要的影响。经试验,控制PE螺杆挤出机各区温度为202,206,206,206,206℃,PP螺杆挤出机各区温度为258,260,260,260,260℃时,纺丝过程稳定且纤维成型良好。

(2)纺丝温度。

纺丝温度对熔体的流动性有着重要影响,特别是在超细纤维纺丝过程中,熔体能否均匀、稳定流动会直接影响到纤维的可纺性。在合适的纺丝温度下,切片充分熔融后,熔体流动性增加;纺丝温度过低,喷丝头拉伸时会发生断丝,可纺性较差;纺丝温度过高,则会导致聚合物降解^[12]。经多次试验,控制PE纺丝箱体温度为206℃,PP纺丝箱体温度为248℃时,复合纤维可纺性良好。

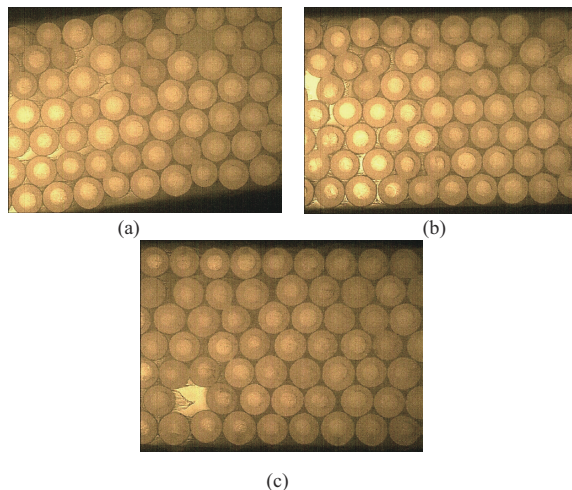
2.3 喷丝工艺

(1)纺丝组件。

纺丝组件主要包括喷丝板、过滤网和过滤介质等。本试验喷丝板选用皮芯复合组件以保证纺丝的稳定性和良好的纺丝质量。由于喷丝板上的毛细孔对磨损和杂质堵塞非常敏感,因此需设置过滤网和过滤介质对熔体进行过滤,针对双组份复合纺丝,PE选用孔径为38 μm/120 μm/246 μm的三层过滤网和198~246 μm的金属过滤砂,PP选用孔径为46 μm/120 μm/246 μm的三层过滤网和198~246 μm的金属过滤砂,纺丝过程稳定且成型良好。

(2)组分配比。

将PE:PP分别按质量比为50:50,40:60,30:70进行试验,如图2所示。为满足皮芯型复合结构且PE在外PP在内的截面,其中40:60和30:70的纤维截面稍好于50:50,而40:60的截面形态更优,PE能够在外完全包裹住PP形成皮芯型结构。因此确定PE:PP的组分配比为40:60。



PE与PP质量比:a—30:70;b—40:60;c—50:50

图2 不同质量比的PE/PP复合纤维横截面

2.4 卷绕工艺

(1)牵伸温度。

牵伸温度一般在高于聚合物的玻璃化温度下

进行,可以避免毛丝、断头的产生。控制其他条件不变,设定牵伸温度(GR_1)分别为 60, 80, 85, 90, 95 °C 进行试验,纤维的力学性能及可纺性分别见图 3 和表 1。

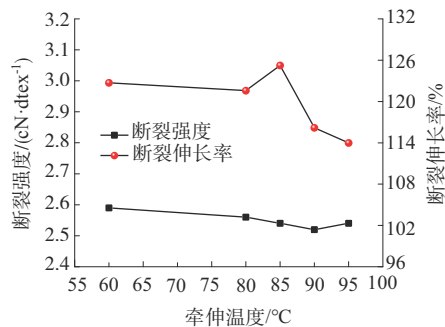


图3 牵伸温度对纤维力学性能的影响

表1 牵伸温度对纤维可纺性的影响

GR_1 温度/°C	60	80	85	90	95
可纺性	良好	良好	良好	易断头	无法纺丝

由图 3 可知,牵伸温度对纤维断裂强度的影响不大,断裂伸长率随着牵伸温度的增加整体呈现下降的趋势,这是因为牵伸温度的增加使得纤维大分子链获得足够的能量并沿轴向规整排列,分子链间的束缚力增强,致使断裂伸长率下降^[13]。由表 1 可知, GR_1 温度在 60~85 °C 时,纺丝可纺性均良好,所以综合纤维的力学性能指标, GR_1 温度最终选择为 60 °C。

(2) 牵伸倍数。

纺丝过程中,牵伸倍数对纤维的取向度、结晶度以及力学性能有着重要的影响,适当的牵伸倍数有利于提高纤维的拉伸强度和弯曲强度,从而获得理想的力学性能。在控制其他条件不变的情况下,设定牵伸倍数分别为:3.55 倍、3.85 倍、4.15 倍、4.45 倍、4.75 倍,纤维的力学性能及可纺性分别见图 4 和表 2。

由图 4 和表 2 可知,随着牵伸倍数的增加,纤维的断裂强度逐渐增大,断裂伸长率逐渐减小,这是

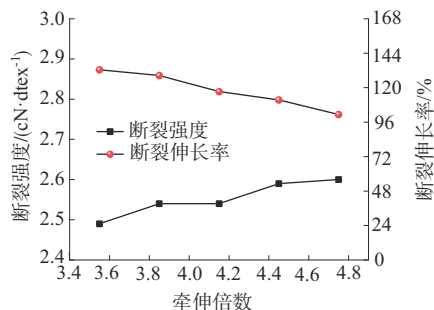


图4 牵伸倍数对纤维力学性能的影响

表2 牵伸倍数对纤维取向度及可纺性的影响

牵伸倍数	可纺性	取向度	线密度/dtex	单丝线密度/dtex
3.55	易断头	54.31	167.1	0.58
3.85	较易断头	59.46	156.3	0.54
4.15	良好	68.10	143.9	0.50
4.45	良好	72.27	135.1	0.47
4.75	易断头	75.30	128.4	0.45

由于牵伸倍数的增加,使得纤维大分子链进一步伸展,取向度增加^[14],纤维的取向度越高,纤维承受外力作用的能力越强,从而使纤维的断裂强度增大,断裂伸长率降低。此外,纤维的取向度随着牵伸倍数的增加而增加,但当牵伸倍数过大时,易导致纤维内部大分子链断裂,使得纤维的可纺性下降。由表 2 可知,当牵伸倍数在 4.15~4.45 时,纤维的可纺性良好。纤维的线密度随着牵伸倍数的增加而逐渐降低,这是由于牵伸倍数的增加使得纤维内部大分子链沿受力方向规整排列,致使纤维细度逐渐减小。因此,综合纤维的线密度、力学性能以及可纺性,牵伸倍数选择 4.15 倍为宜。

(3) 定型温度。

纤维经拉伸后内部会存在一定的内应力,所以需经过进一步的热定型处理。第二热辊起热定型作用,使拉伸时形成的分子链结构得到进一步固定,有利于纤维结晶和取向形成,并且可在一定程度上提高纤维的可纺性。控制其他条件不变,设置定型温度分别为 102, 105, 112, 117, 122 °C,纤维的力学性能及可纺性分别见图 5 和表 3。

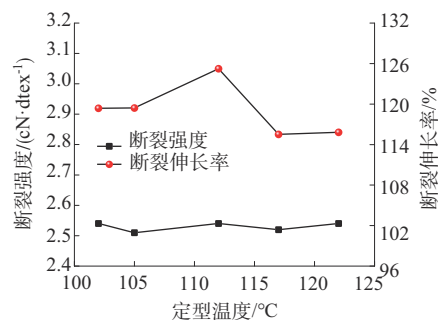


图5 定型温度对纤维力学性能的影响

表3 牵伸温度对纤维可纺性的影响

GR_2 温度/°C	102	105	112	117	122
可纺性	较好	正常纺丝	良好,无断头	易断头	无法纺丝

由图 5 可知,定型温度对纤维的断裂强度和伸长率影响不大;由表 3 可知,随着定型温度的升高,可纺性下降,这是由于纤维内部大分子链在高温下重新排列伸展,导致第二热辊处断头现象增加。综

合纤维的力学性能和可纺性,GR₂温度最终选择为105℃。

(4)卷绕速度。

纺丝工艺中,卷绕速度与纤维的力学性能有着密切的关系。卷绕速度过慢,纤维拉伸强度不够,大分子链排列不够整齐,其力学性能无法满足后续织造工艺要求;卷绕速度过快,纤维所受的空气阻力以及设备的摩擦力增加,易导致纤维断头增加,影响可纺性。在控制其他条件不变的情况下,设定纺丝速度分别为:2 600,2 900,3 200,3 500,3 800 m/min,纤维的力学性能及可纺性分别见图6和表4。

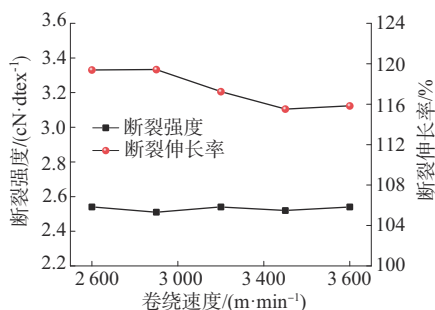


图6 卷绕速度对纤维力学性能的影响

表4 卷绕速度对纤维取向度及可纺性的影响

卷绕速度/(m·min ⁻¹)	可纺性	取向度
2 600	易断头	58.63
2 900	良好	59.87
3 200	良好	68.10
3 500	较易断头	69.64
3 800	易断头	72.06

由图6和表4可知,卷绕速度对断裂强度的影响不大,随着纺丝速度的增加,其断裂伸长率略有减小,这是由于卷绕速度的增加,使得初生纤维中大分子链沿受力方向规整排列,分子间束缚力增强,致使断裂伸长率降低^[15]。随着卷绕速度的增加,原丝的取向度不断提高,这是由于纤维大分子链和链段沿纤维轴向规则排列,纤维大分子与轴向的吻合程度提高,内部结构更加完整^[16],表现为取向度提高。但当卷绕速度过高时,纤维与空气和设备间的摩擦阻力都会增加,会导致纤维内部大分子链断裂从而影响纤维可纺性及纺丝质量。由表4可知,当卷绕速度在2 900~3 200 m/min时,纤维的可纺性均良好。此外,卷绕速度与单位时间内的生产效率有着直接关系。因此在产业化生产中,通常会在满足可纺性和纤维质量要求的前提下,选择较高的卷绕速度。因此,实验选择卷绕速度3 200 m/min为宜。

2.5 冷却工艺

合适的冷却工艺有利于纤维获得优异的性能,冷却条件主要包括风温、风湿、风速三个因素。合适的风速有利于降低纤维的不均率并减少断头现象。风温对丝条的均匀度影响也很大,如果风温过高,丝条将较难冷却,拉伸过程容易出现丝条不匀、断裂等现象。风的湿度决定了丝条的冷却效率,并且合适的湿度可以减少纺丝时的静电效应,确保纺丝过程中丝条的稳定,减少断头和毛丝,从而大大提高可纺性。本试验采用侧吹风,适宜的风温、风湿、风速分别为25℃,75%,0.52 m/s。

采用以上优选的工艺条件进行纺丝得到的PE/PP复合超细纤维线密度为143.9 dtex/288 f(单丝纤密度≤0.5 dtex),满足了制备电池隔膜对超细纤维的规格要求。

3 结论

选用PE和PP进行双组分复合纺丝,制备了PE/PP皮芯型复合超细纤维,探究了纺丝工艺参数对纤维可纺性和产品质量的影响:

(1)根据纤维实际可纺性,选定PE螺杆挤出机各区温度为202~206℃,PP螺杆挤出机各区温度为258~260℃;PE纺丝箱体温度为206℃;PP纺丝箱体温度为248℃。

(2)通过改变PE/PP组分的配比进行对比试验,根据复合纤维横截面形态确定PE:PP的质量比为40:60。

(3)在反复试验下,根据对纤维可纺性的观察以及对纤维取向度、力学性能的分析,确定最佳的牵伸温度为60℃,牵伸倍数为4.15倍,定型温度为105℃、卷绕速度为3 200 m/min。

(4)采用双组分熔融复合纺丝技术并通过最佳工艺的探究,成功制备了144 dtex/288 f复合超细FDY丝,其细度指标满足了镍氢电池隔膜的制备要求。

参考文献

- [1] 罗桂成,盛春龙.浅析新能源汽车的未来发展趋势[J].时代汽车,2022(21):105-107.
Luo Guicheng, Sheng Chunlong. Analysis of the future development trend of new energy vehicles[J]. Auto Time, 2022(21): 105-107.
- [2] 徐汉成.可充电电池的特征浅谈[J].山东化工,2022,51(12):103-105.
Xu Hancheng. Brief talking on characteristics of rechargeable batteries[J]. Shandong Chemical Industry, 2022, 51(12):103-105.

- [3] 孙国华,崔佳齐,汪杨,等.耐热型聚合物锂离子电池隔膜的研究进展[J].中国塑料,2022,36(10):190-194.
Sun Guohua, Cui Jiaqi, Wang Yang, et al. Research progress in heat-resistant polymer lithium-ion battery separators[J]. China Plastics, 2022, 36(10):190-194.
- [4] Mu X, Zhou X, Wang W, et al. Design of compressible flame retardant grafted porous organic polymer based separator with high fire safety and good electrochemical properties[J]. Chemical Engineering Journal, 2021, 405. DOI:10.1016/j.ccej.2020.126946.
- [5] 赵丽君,周立春,刘文,等.镍氢电池隔膜纸的特性及研究进展[J].纸和造纸,2016,35(1):27-33.
Zhao Lijun, Zhou Lichun, Liu Wen, et al. Present situation and progress of research on separator paper of MH-Ni battery[J]. Paper and Paper Making, 2016, 35(1):27-33.
- [6] 赵德方,毛加冲,黄芽,等. PP/PA6中空橘瓣型复合超细纤维的制备及性能研究[J].丝绸,2022,59(6):44-49.
Zhao Defang, Mao Jiachong, Huang Ya, et al. Study on preparation and properties of PP/PA6 hollow segmented-pie composite superfine fibers[J]. Journal of Silk, 2022, 59(6):44-49.
- [7] 郭治平,杨丽.超细纤维的应用及其研究进展[J].科技创新与应用,2016(32):88-89.
Wu Zhiping, Yang Li. The application and research progress of ultrafine fibers[J]. Technology Innovation and Application, 2016 (32):88-89.
- [8] 张宇静,童珈珈,叶翔宇,等.双组分超细纺黏水刺非织造材料发展现状与展望[J].丝绸,2022,59(7):29-39.
Zhang Yujing, Tong Jiajia, Ye Xiangyu, et al. Research progress and prospect on bicomponent spunbond hydroentangled nonwovens [J]. Journal of Silk, 2022, 59(7):29-39.
- [9] 赵丽君,周立春,刘文.镍氢电池隔膜纸的关键技术[J].黑龙江造纸,2018,46(1):7-12.
Zhao Lijun, Zhou Lichun, Liu Wen. Key technology of separator paper of MH-Ni battery[J]. Paper Technology & Application, 2018, 46(1):7-12.
- [10] 胡欣欣,刘浩浩.一种氧化石墨烯改性镍氢电池隔膜及其制备方法, CN107946522B [P/OL]. 2020-08-28.
Hu Xinxin, Liu Haohao. A graphene oxide modified nickel hydrogen battery separator and its preparation method, CN107946522B [P/OL]. 2020-08-28.
- [11] 孔德康,孔军,堵宇峰.用于制作镍氢电池磺化隔膜的无纺布、镍氢电池磺化隔膜及其制造方法, CN101775756 A [P/OL]. 2010-07-14.
Kong Dekang, Kong Jun, Du Yufeng. Nonwoven fabric for producing sulfonated membranes for nickel-hydrogen batteries, sulfonated membranes for nickel-hydrogen batteries, and their manufacturing method, CN101775756 A [P/OL]. 2010-07-14.
- [12] 柯伟斌,江建平,陈光明,等.细旦和超细旦丙纶POY-DTY长丝生产工艺的探讨[J].化纤与纺织技术,2020,49(1):1-6,22.
Ke Weibin, Jiang Jianping, Chen Guangming, et al. Discussion on the production technology of fine denier and ultra-fine denier POY-DTY filament[J]. Chemical Fiber & Textile Technology, 2020, 49(1):1-6, 22.
- [13] 张强,王庆昭,陈勇.熔纺超分子量聚乙烯纤维初生丝制备及拉伸工艺[J].工程塑料应用,2023,51(5):81-85,97.
Zhang Qiang, Wang Qingzhao, Chen Yong. Preparation and drawing process of melt-spun ultra high molecular weight polyethylene virgin fibers[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51 (5):81-85, 97.
- [14] 邓安国,高占岭,郭薇薇,等.聚丙烯超细FDY长丝的制备及性能研究[J].合成纤维工业,2021,44(6):25-29.
Deng Anguo, Gao Zhanling, Guo Weiwei, et al. Preparation and properties of ultrafine polypropylene FDY [J]. China Synthetic Fiber Industry, 2021, 44(6):25-29.
- [15] 孙西超,张晓忠,许志强,等.耐高温聚醚砜熔融纺丝的可纺性研究[J].合成纤维工业,2017,40(1):17-20.
Sun Xichao, Zhang Xiaozhong, Xu Zhiqiang, et al. Study on spinnability of high temperature resistant polyether sulfone during melt spinning[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2017, 40(1): 17-20.
- [16] 刘岳新,徐樾华,赵志娟,等.声速仪在PAN基碳纤维制备过程中的应用[J].纺织学报,2005(4):7-9.
Liu Yuexin, Xu Lianghua, Zhao Zhijuan, et al. Application of sound velocimeter during the preparation of PAN-based carbon fibers[J]. Journal of Textile Research, 2005(4):7-9.