

聚丙烯纤维细旦、可染及功能化改性研究进展

张思灯,王兴平,孙 宾,周 哲,张 瑜,陈彦模,朱美芳*

(东华大学材料学院 纤维材料改性国家重点实验室,上海 201620)

摘要:聚丙烯(PP)纤维具有加工性能良好、比重低、几乎零吸水、耐化学腐蚀性强且易得、成本低等一系列优点,得到广泛的应用。本文结合所在课题组近年来在聚丙烯纤维领域所做的研究工作,主要介绍了细旦化 PP 纤维、可染性 PP 纤维以及抗菌 PP 纤维、抗静电 PP 纤维、抗紫外 PP 纤维、阻燃 PP 纤维等几大功能化 PP 纤维的研究进展,特别突出纳米技术在 PP 纤维可染改性和功能化方面的应用。提出了聚丙烯纤维未来将朝着高效功能化、多功能化、高性能化方向发展,有望在生物应用领域占一席之地,前景非常乐观。

关键词:聚丙烯;纤维;细旦;可染性;功能化

引言

聚丙烯(PP)作为五大通用塑料之一,是烯烃类聚合物中重要的一员,是第一个实现工业化的合成立体规整聚合物;由于聚丙烯立体规整的结构,使其广泛应用于热塑性塑料工业以及薄膜和纤维等领域。等规聚丙烯自 1953 年由意大利齐格勒教授催化合成问世,最早于 1957 年由意大利的蒙特卡蒂尼公司开始工业化生产,在等规聚丙烯实现工业化不久后,蒙特卡蒂尼公司便实现了聚丙烯纤维的产业化^[1,2]。聚丙烯纤维,在中国被称为丙纶,通常以等规聚丙烯为原料,通过熔融纺丝法制得的一种合成纤维,是化学合成纤维中最轻的品种。聚丙烯纤维具有强度适中;耐磨性仅次于聚酰胺纤维;耐酸、碱腐蚀性良好;不发霉,不腐烂,不怕虫蛀等一系列优异性能。聚丙烯纤维在服装、装饰用布以及工业领域都得到广泛应用,例如用于各种外衣、内衣、游泳衣、运动衫、袜子等;用于各种装饰布、家具布、地毯等;用于建筑增强材料、土工布、吸油毡、运输带、绳、网、包装材料等。

起初能为市场提供的只有有限的低旦复丝以及细旦短纤维。随着生活水平的不断提高,人们对聚丙烯纤维的性能也提出了更高的要求,如细旦化、可染性以及阻燃、抗紫外、抗菌、抗静电、远红外、负离子等多功能化,且取得一定的进展和科技成果。高性能、高附加值一直是业界追求的目标,因此受到国内外相关人士的高度关注。

在此,我们就聚丙烯纤维的细旦化、可染性及功能化的国内外研究进展进行阐述。

1 聚丙烯纤维的细旦化研究进展

化学纤维的细旦化是长期以来服用纤维的重要发展方向之一。众所周知,细旦化的聚丙烯纤维不仅大大提高了其制成的面料手感和舒适度,还充分发挥细旦化后独特的“芯吸效应”,使汗液沿纤维纵向由里向外排出,具有导湿排汗功能且透气清爽不粘身,加上其质轻等特点,具有其它纤维织物所不具有的优良服用性能^[3]。

上世纪 70 年代,世界上比较著名的公司如意大利的蒙特迪生、得利比奥,美国的 FFT、赫克里斯、维

收稿:2013-07-30;修回:2013-08-06;

基金项目:国家杰出青年科学基金(50925312);长江学者和创新团队发展计划(T2011079,IRT1221);中央高校基本科研业务费专项基金(CUSF-DH-D-2013012)资助;

作者简介:张思灯(1982—),男,博士研究生,主要从事高聚物改性和纳米复合材料方面的研究;

* 通讯联系人,朱美芳,教授、博导,主要从事纤维成型理论、功能纤维和高性能纤维、生物质纤维、纳米复合材料与智能材料研究。E-mail:zmf@dhu.edu.cn.

克拉以及日本的三菱公司等都开始从事细旦丙纶丝的生产;到上个世纪末,欧美的细旦、超细旦丙纶长丝生产技术和产品不断得到发展,生产厂家逐渐增多,单丝纤维纤度可达到 0.7dpf^[4]。

“细旦、超细旦丙纶长丝及制品产业化”项目在国家发改委、中科院领导的大力支持下,早在 1992 年入选为国家产学研工程项目,在中科院化学所和相关企业单位的通力合作下,于 1994 年开发出了具有排汗、导湿、透气、抗皱的“丝普纶”牌真丝;与此同时,在以原中国纺织大学为首的专家和各界人士的努力下,亦开发出了高质量的“蒙泰丝”。

国外有关细旦、超细旦聚丙烯纤维的研究报道极少,主要集中在一些专利上^[5~7]。国内中国科学院化学研究所和原中国纺织大学早在 1991 年也联合申请了有关细旦和超细旦聚丙烯纤维制造方法的专利^[8],还有有一些相关文献报道,主要从细旦用聚丙烯树脂的开发以及工艺-结构-性能等方面展开研究。

早在 1995 年,陈稀等^[9]研究了国产 Z30S 聚丙烯及其改性切片的分子量(MW)和分子量分布(MWD)以及纺丝工艺对细旦丙纶复丝可纺性和卷绕丝结构性质的影响,成功制备了单丝纤度为 1.67dtex 的丙纶复丝。其研究表明,聚丙烯的分子量及分子量分布对卷绕丝的结构和性质起首要影响作用,纺丝工艺条件则起重要影响作用;国产 Z30S 聚丙烯切片即使在更高温度下纺丝,卷绕丝仍是 α 晶型结构,在添加少量降温母粒共纺或经改性后纺丝,卷绕丝可获得准晶型或混晶型结构,有较好的可纺性和后拉伸性。同年,陈彦模等^[10]详细研究了细旦聚丙烯卷绕丝的结晶结构与其后拉伸性能的关系,同样得出次晶结构的存在有利于提高可纺性和后拉伸性能,且卷绕丝次晶对 α 晶的相对含量越高,后拉伸性能越好;以次晶结构为主体的样品,充分拉伸后纤维单丝纤度可达 0.55dpf,强度可达 6.02CN/dtex,是一种具有优良物理机械性能的超细丙纶长丝。以上细旦聚丙烯的开发主要是通过共混改性的方法,添加化学降解剂来提高聚丙烯的流动性以及达到更窄的分子量分布。但是这一方法会残留少量添加剂,在作为卫生用、服装用材料时存在一些隐患,甚至会在穿着过程中造成皮肤过敏^[11]。剡军等^[12]通过对国内当前所需细旦丙纶原料的质量指标进行调研,制定出相应的质量指标体系;介绍了氢调法生产聚丙烯原料的工艺流程,通过控制聚合加氢量、聚合反应的工艺条件,加强丙烯精制,提高主催化剂活性,控制助催化剂用量等工艺条件,开发并优化了生产细旦丙纶原料的工艺条件,该专用聚丙烯树脂能够满足 1.67~6.00dtex 细旦丙纶长丝生产的需求。

除了专用树脂外,后续纺丝工艺也是制备高质量细旦丙纶的必要条件。1997 年无锡太极公司研究所王伟等^[13]走出实验室研究阶段,采用国产切片和进口生产设备就细旦丙纶一步法拉伸丝试制工艺进行了探讨;通过系统探究,给出了细旦丙纶全拉伸丝(FDY)试制的工艺条件为:纺丝温度 265~285℃,熔体压力在 7~8MPa;冷却用侧吹风风温取 25~30℃,风速 0.3~0.4m/s;卷绕速度为 3600m/min 时制得单丝纤度为 1.54dtex 的纤维强度可达 4.5cN/dtex。1999 年贵阳丝普纶化纤有限责任公司的胡芳^[14]对细旦丙纶预取向丝(POY)生产工艺进行了探讨,具体工艺参数见表 1,成功制得了 83dtex/72f 丙纶 POY 长丝。

表 1 83dtex/72f 丙纶纺丝工艺条件^[14]
Table 1 Spinning process conditions of 83dtex/72f polypropylene fibers^[14]

干燥温度/℃	90	泵供量(g/min)	21.58
熔体温度/℃	268	油剂浓度/%	8
联苯温度/℃	270	油泵转速(r/min)	28
预过滤器后压力/MPa	8.0	导丝辊 1 速度(m/min)	2650
侧吹风风速(m/s)	0.3	导丝辊 2 速度(m/min)	2640
侧吹风风温/℃	18	卷绕角(°)	5.6
湿度/%	60	卷绕速度(m/min)	2600
计量泵转速(r/min)	12.26	落丝时间(min)	230

2 聚丙烯纤维可染性研究进展

由于聚丙烯属于非极性聚合物,基体中没有极性基团,且等规立构使大分子规整度高,结晶度高,纤

维结构紧密,疏水性强,内部缺乏空隙,致使染料分子难以渗入纤维内部,难以着色,使其在服用推广方面受到限制,因此国内外许多研究者采用各种方法,以期解决这一技术难题。早在 1998 年,本课题组就聚丙烯纤维可染改性进展进行了报道^[15],包括丙纶用染料助剂的研究进展、纤维表面改性处理、聚丙烯本体共聚、低分子化合物和高聚物共混改性等。随着行业发展、技术进步,有关聚丙烯纤维的可染性研究主要集中在:改善聚丙烯纤维的聚集态结构;通过共混方法添加能和染料结合的聚合物;采用纳米技术赋予聚丙烯新的染座等。

早期人们采用纺前加入聚酯的方法,改变聚丙烯聚集态结构,开发出分散染料可染丙纶^[16,17],斯洛伐克科技大学的 Ujhelyiova 等^[18]分别采用 PBT 和 PET 对聚丙烯纤维进行共混改性,详细研究了共混体系的上染率、染色速率、扩散系数以及活化能等染色动力学参数。但是聚酯与聚丙烯结构和性能之间的差异导致可纺性差。本课题组陈彦模教授带领的团队^[19]则选择与聚丙烯相容性好的烯烃类高聚物和聚丙烯共混纺丝,系统研究了烯烃高聚物的添加量、拉伸倍数、热板温度、热辊温度对纤维结晶度、取向度的影响,从而达到调控聚丙烯聚集态结构的目的,再结合染色工艺优化,制得分散染料可染丙纶;还对分散染料在共混丙纶中的分布状态^[20]、吸附和扩散进行了研究^[21]。其后,他们还就共混丙纶的结构与染色性能之间的关系进行了详细研究,结果表明共混体系属于基体-微纤两相结构,随着烯烃类高聚物添加量的增加,结晶度和取向度均下降,纤维中会产生大量的沟槽和微孔,有利于纤维染色,尤其当烯烃类高聚物添加量为 6% 时,烯烃类高聚物开始相互贯通,平衡上染率增加幅度最大^[22]。为了改善非聚烯烃改性添加剂与聚丙烯基体之间的相容性,华东理工大学徐斌等^[23]以苯乙烯辅助马来酸酐接枝聚丙烯作为相容剂,并引入带有酸性染料染座的尼龙 6 和阳离子染料染座的改性共聚酯(HCDP),按照一定比例与聚丙烯共混纺丝,纺丝速度达到 3600m/min,改性聚丙烯纤维可以用分散染料染成深色,酸性染料和阳离子染料对改性聚丙烯纤维的染色能力也得到明显提高。日本岛根大学 Takahashi 以马来酸酐接枝聚丙烯作为相容剂,制得 PP/PA6 可染共混纤维,PA6 组分良好的分散性能对可染性能起关键作用^[24]。20 世纪 90 年代中后期,采用聚苯乙烯作为聚丙烯纤维的改性添加剂来增强其性能首有报道^[25],其后我们将聚苯乙烯作为改善聚丙烯纤维可染性能的添加剂进行了研究,共混纤维的可染性能随添加剂含量的增加而得以提高^[26];后来为了进一步改善聚丙烯纤维的可染性,在此基础上采用丙烯酸系单体对聚苯乙烯进行共聚改性,因为极性基团的存在,制备的改性聚合物可以用于提高聚丙烯纤维的染色性能^[27]。近年来,超支化聚合物由于具有三维结构和大量端基,这些结构特征决定了它们的性能偏离于一般的线性聚合物,比如溶解性高、黏度低、化学反应活性强从而可通过分子间特殊相互作用接纳客体分子等,因此受到广泛关注,同时也为获得可染聚丙烯纤维提供了新的思路。荷兰利兹大学的 Burkinshaw 等^[28]在纺丝之前引入超支化聚合物(如图 1 所示),一方面由于超支化聚合物部分端基被脂肪酸盐改性,保证了其与聚丙烯的相容性,另一方面极性基团和刚性环的存在提供与合适染料的相互作用显著提高了聚丙烯的可染性;当添加 3% 的改性超支化聚合物时,在 60℃ 下重复 5 次的耐洗色牢度是非常理想,耐光色牢度较差。北京理工大学的李国平等^[29]以双酚酸为单体,采用熔融缩聚制得超支化聚酯,并进行烷基化改性,然后将其与聚丙烯共混纺丝,当改性超支化聚酯添加量为 3.2% 时,得到的可纺性良好的聚丙烯纤维在常压沸染条件下,分散染料的上染率得到很大提高。此外,超支化聚酰胺^[30]和超支化聚酰胺酯^[31,32]的加入,也大大改善了聚丙烯纤维上染率。

到目前为止,许多传统提高聚丙烯可染性方法,如共聚、共混、接枝、表面等离子处理以及特殊染料分子设计等在商界都不太受欢迎,这是因为这些传统方法大大提高了纤维制造或者可染加工的成本,阻碍了聚丙烯纤维的细旦化,在一定程度上还损害了聚丙烯纤维的机械性能。然而纳米技术以及纳米粒子的出现可以解决这一问题,纳米粒子可以像染料一样分散在聚丙烯基体中且可继续采用传统纺丝设备进行纺丝。早在 2004 年,本课题组就采用纳米材料来改善聚丙烯纤维的染色性能进行研究^[33,34],用分散染料在高温下对 PP 复合纤维进行染色,结果表明,加入修饰后纳米 CeO₂ 的复合纤维和未修饰纳米 CeO₂ 的复合纤维其吸收系数与散射系数的比值(K/S)比纯 PP 纤维分别增加了 30.3% 和 45.5%,纤维的染色性能提高。众所周知,纳米粘土对染料具有高效的吸附性。Toshniwal 等^[35]采用溶液共混技术制备了聚丙

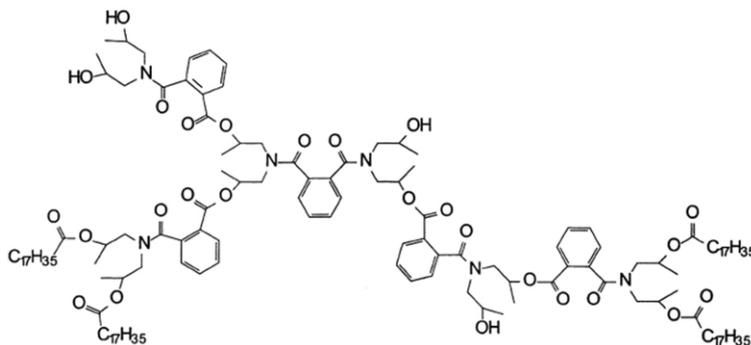


图 1 超支化聚合物 PS2550(部分端基用硬脂酸盐改性;数均分子量-2500)^[28]

Figure 1 Hybrane PS2550 (partially stearate-modified; M_n -2500)^[28]

烯/粘土纳米复合材料,然后经过单螺杆挤出机挤出成纤,得到了令人满意的耐水洗、光色牢度的复合纤维。该方法所制备的聚丙烯纤维简易且溶液法较复杂很难推广,Razafimahefa 等^[36]则通过烷基铵改性蒙脱土然后通过熔融纺丝技术制得聚丙烯/粘土纳米复合纤维;当添加马来酸酐接枝的聚丙烯作为相容剂,粘土在聚丙烯中分散良好时染色效果最好,且耐洗色牢度优异。Rabiei 等^[37]则根据等温吸附曲线、热焓和熵变、扩散系数以及扩散活化能等参数对聚丙烯/粘土复合纤维的分散染料的染色机理进行了研究。除了添加无机纳米颗粒改善聚丙烯纤维染色性外,我们课题组和其它业界很多专业人士还对聚丙烯/聚合物/纳米粒子三元共混体系进行了研究^[38~41]。为了兼顾可染性和细旦化,我们课题组还在此基础上,采用有机纳米粒子对聚丙烯纤维进行改性。Chen 等^[42]制备了聚(苯乙烯-二甲基丙烯酸乙二醇酯)/聚(甲基丙烯酸甲酯-苯乙烯-丙烯酸丁酯-甲基丙烯酸酯)[P(St-EGDMA)/P(MMA-St-BA-MA)]芯鞘结构有机纳米颗粒,并用于对聚丙烯纤维进行可染改性,显著提高了聚丙烯纤维的可染性(见图 2)。

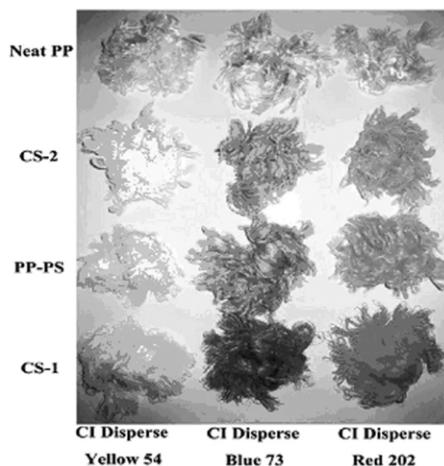


图 2 几种染料对改性和未改性聚丙烯纤维染色后扫描图像

(PP-PS 表示用 5%(wt)的 PS 进行改性,CS-1 表示用 5%(wt)的芯鞘有机颗粒改性,CS-2 表示用 2%(wt)的芯鞘有机颗粒改性)^[42]

Figure 2 Scanned images of the modified and unmodified fibers dyed with CI Disperse Yellow 54, CI Disperse Blue 73 and CI Disperse Red 202^[42]

3 聚丙烯纤维功能化研究进展

随着科学技术的发展、生活水平的提高以及健康、环保意识的增强,人们对服用纤维和织物又有了新的要求,即在注重服饰美观与舒适的同时,也对服饰的保健、卫生等功能性提出了更高的要求,因此新型多功能纤维及织物也得到消费者的广泛青睐,聚丙烯纤维也不例外。鉴于功能种类繁多,我们就不一一介绍。下面我们主要就抗菌、抗静电(导电)、抗紫外、阻燃等几大功能的聚丙烯纤维的研究现状进行简要

概述。

3.1 抗菌聚丙烯纤维

纺织品在穿着使用过程中,因其多孔疏松的形态,会沾污很多汗液、皮脂以及其它各种人体分泌物,同时也会被环境中的物质所站污,这些污物是各种微生物繁殖的良好环境。可见在致病菌的繁殖和传递中,纺织品是一个重要的媒介,因此,人们想到对纺织品进行抗菌整理,赋予其抗菌功能,不仅可避免纺织品因微生物的侵蚀而受损,而且可以截断纺织品上病菌传递的途径,阻止致病细菌的繁殖,抑制皮炎及其它疾病的传播。

纺织品的抗菌方法由最初的织物后整理工艺发展到开发抗菌纤维。获得抗菌聚丙烯纤维一般采用与抗菌剂共混熔融纺丝的方法。采用共混纺丝法制备聚丙烯抗菌纤维要求抗菌剂有较好的热稳定性和分散性且与聚丙烯有良好的相容性,由于共混纺丝使抗菌剂均匀地分散于纤维的内部,因此所制得的抗菌纤维及其制品有优良的耐洗牢度和持久的抗菌效果。抗菌剂一般可分为:(1)天然抗菌剂,从动物中提取的主要有甲壳质、壳聚糖和昆虫抗菌性蛋白质等,从植物中提取的主要有桉柏、艾蒿、芦荟等,还有从矿物中提取的抗菌剂;(2)有机类抗菌剂,主要有季铵盐类、双胍类、醇类、酚类、醛类、有机酸类、酯类、过氧化物类、卤素类、咪唑类、噻唑类、吡啶类等;(3)无机类抗菌剂,包括载体结合金属离子型无机抗菌剂、氧化物催化型无机抗菌剂和复合型抗菌剂^[43]。

东华大学^[44]根据抗菌剂本身的有效性、毒性、广谱性、成本及稳定性,制备出一种新型高分子型抗菌添加剂(ABD),并将 ABD 与聚丙烯共混纺丝,在 250℃ 的纺丝条件下,热稳定性及可纺性良好,制得了抗菌效果显著、抗菌谱广且单丝纤度小于 1.2 dtex 的抗菌聚丙烯纤维。

美国 FFT 公司的 SALUS 纤维使用了获美国 EPA 批准的安全性抗菌剂 Microban,该试剂布满整个纤维的截面,重复洗涤 200 次后仍具有良好的抗菌性能^[3]。

日本帝人公司研制了 PP/PET 皮芯复合抗菌除臭短纤维,其皮层 PP 内含有 ZnO、SiO₂、Novaon AG2300 抗菌剂和二苯酮。这种纤维除具有抗菌性外还具有快干性,可用于服装、椅套覆盖、地毯等。日本 Kanebo 公司将含有银离子的沸石粒子、噻唑啉化合物添加到聚丙烯中纺制成纤维,用该纤维制成网状过滤层应用于空调过滤器,具有很好的杀灭细菌和真菌的功能,能够减少空调过滤网的洗涤次数^[45]。

山东省化学纤维研究所马晓光等^[46]将聚丙烯、纳米陶瓷粒子 NT、M⁺ 沸石混合造粒制得抗菌母粒,聚丙烯切片与抗菌母粒共混熔融纺丝,得到纳米复合抗菌聚丙烯纤维。结果表明:纳米抗菌剂最佳含量为 0.8% 左右,此时纤维抑菌率达 90% 以上,具有很好的耐久性。

吴建东等^[47]分别将有机分子组装型抗菌剂 KJY-1 与无机银系抗菌剂 KJW-1 与聚丙烯切片共混通过熔融纺制备抗菌聚丙烯纤维。所获得的抗菌聚丙烯纤维具有良好的可纺性和机械性能。当 KJY-1 和 KJW-1 的添加量分别为 0.8% 和 1% 时,聚丙烯纤维的抗菌率分别为 99% 和 93%,水洗 50 次后两种抗菌纤维的抗菌率仍大于 90%。

为了改善抗菌剂与聚丙烯基体之间的相容性,王兴雪等^[48]采用钛酸酯 A、乳酸钛盐、钛酸酯 B 和硅烷 4 种偶联剂对载银磷酸锆纳米粒子进行表面改性,然后将其与聚丙烯共混熔融纺制得抗菌聚丙烯纤维。研究表明,在所选用的不同种类不同含量的偶联剂中,质量分数 5% 钛酸酯 B 偶联剂的处理效果最佳,且抑菌率不受影响。

Chiu 等^[49]通过熔融纺制备了 TiO₂/PP 纳米复合物纤维并研究了其力学性能和抗菌性能。研究表明,当 TiO₂ 的含量为 1% (wt) 时,TiO₂ 在 TiO₂/PP 纳米复合物纤维表面均匀分布,粒径约为 20~50nm,所得到的 TiO₂/PP 纳米复合物纤维表现出良好的热稳定性和抗菌性能。

Dastjerdi 等^[50]为了进一步提高抗菌效果,将 TiO₂/Ag 纳米复合抗菌剂添加到聚丙烯母粒中制备了长丝纱线。他们首先以纳米 TiO₂ 为芯,表面包覆 1% (wt) 的 Ag 纳米颗粒作为复合抗菌剂,然后再与聚丙烯共混熔融纺丝制得抗菌纤维和织物。研究表明纳米复合抗菌剂的加入并未影响到聚丙烯纤维的可纺性及机械性能,且抗菌效果显著;仅添加 0.2% (wt) 的复合抗菌剂时其抗菌率达到 99.24%,当抗菌剂添加量提高到 0.5% (wt) 时,聚丙烯织物抗菌率可达 99.95%。随后,他们还对此种复合体系的共混方法

进行了研究^[51],分别选用双螺杆挤出共混、单螺杆挤出共混以及母料共混三种方法进行共混,然后通过熔纺制备抗菌聚丙烯纤维。结果表明,单螺杆挤出共混法得到的复合物中纳米粒子分散性较差,纤维表面粗糙度大,纳米颗粒易聚集,但增加了纳米颗粒向纤维表面的迁移性,抗菌效果反而更佳。

此外,还可以采用抗菌剂与聚丙烯接枝共聚制备抗菌聚丙烯,通过熔融纺丝制备永久抗菌聚丙烯纤维,但这种方法工艺繁琐,成本高,不适于工业化生产。日本室素公司^[52]以甲基丙烯酰胺作抗菌剂,分别与乙烯和丙烯共聚,然后制备乙/丙皮芯结构复合纤维。其对革兰氏阳性菌、阴性菌和真菌均有 100% 的抑菌作用。

3.2 抗静电(导电)聚丙烯纤维

无论是工业用还是家纺、服饰用聚丙烯纤维,人们常因电荷积累所带来的危害和困扰而发愁,因此开发抗静电(导电)聚丙烯纤维刻不容缓。导电纤维是通过电子传导和电晕放电而消除静电的功能性纤维,通常是指在标准状态下(20℃、65%相对湿度)比电阻在 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下的纤维。由于导电纤维的比电阻值远低于普通纤维,同时电荷半衰期很短,因此导电纤维在任何情况下都可以在极短的时间内消除静电^[53]。由于 PP 纤维易产生静电(比电阻约为 $6.5 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$),因此对 PP 纤维的抗静电改性研究一直是 PP 纤维功能化的研究热点。目前制备抗静电 PP 纤维的途径主要是通过向 PP 纤维中加入具有导电性的氧化锡、氧化锌、聚苯胺、碳纳米管等制成导电 PP 纤维,借助电晕放电实现 PP 纤维的抗静电。

丁长坤^[54]采用浅色纳米二氧化锡(掺锡)为导电组分,以钛酸酯偶联剂对其进行表面有机化改性处理,以低分子蜡为分散剂,另外添加少量抗氧剂,通过双螺杆挤出机制得导电聚丙烯母粒,再利用熔融纺丝工艺,纺制出一种新型导电聚丙烯纤维,并对纤维进行了拉伸和热定型等后处理。研究发现,纳米 SnO_2 的加入使聚丙烯的结晶温度提高,结晶度有所增大,形成多重、完善程度不同的结晶结构;聚丙烯在加入纳米 SnO_2 前后晶型没有发生变化,都是标准的 α 晶型。研究表明,纤维中掺混 20% 的导电粉是比较合适的量,此时体积比电阻达到 $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$,较纯聚丙烯纤维下降了 9 个数量级,具有良好的抗静电效果。

陈伟等^[55]采用聚丙烯接枝顺丁烯二酸酐、聚乙二醇和氧化锌的方法制备抗静电剂,再与 PP 切片共混纺丝,得到抗静电 PP 纤维,测试了纤维的力学性能和抗静电性能等。结果表明:随抗静电剂含量的增加,抗静电 PP 纤维的力学性能先升高(抗静电剂质量分数小于 5%)而后逐渐下降,体积比电阻降至 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$,静电半衰期保持在 60s 以下,抗静电效果优良。

Fryczkowski 等^[56]制备了含有十二烷基二苯醚磺酸掺杂聚苯胺的聚丙烯纤维,使用了一种特殊的制备工艺进而避免了聚苯胺在高温下的分解;所制备的聚丙烯纤维具有良好的形貌和导电性能。

我们知道,碳纳米管是非常好的导热、导电材料,由于其非常高的长径比,保障了在添加量较低的情况下,既不太影响共混体系的黏度,还具有很好的导电性能。

清华大学李辰砂等^[57]采用共混纺丝的方法将碳纳米管加入到 PP 纤维中,并通过测量其摩擦静电荷量来研究其抗静电性能的变化。研究表明,与含碳纳米管的有机抗静电剂混纺的 PP 纤维的摩擦静电荷显著低于与纯有机抗静电剂混纺的 PP 纤维,而与含化学镀银的碳纳米管的有机抗静电剂混纺的 PP 纤维的摩擦静电荷进一步降低,经过化学镀银的碳纳米管,导电性和抗静电效果进一步提高。

法国的 Cayla 等^[58]首先将多壁碳纳米管(MWCNT)与聚己酸内酯(PCL)共混制得复合材料,然后将复合材料与聚丙烯按一定比例熔融共混纺丝制得了具有导电性能的复丝。Soroudi 等^[59]为了进一步提高聚丙烯纤维的导电性能,将多壁碳纳米管和聚苯胺一起复合到聚丙烯中,通过熔融纺制备了聚丙烯/聚苯胺/多壁碳纳米管复合纤维。为了解决多相结构的相容性,他们对聚苯胺进行杂化和塑化处理,多壁碳纳米管是预先和聚丙烯混合制成填充量为 15% 的母粒。结果显示,当聚苯胺添加量为 20% 以及多壁碳纳米管填充量为 7.5% 时,经牵伸后的纤维电导率达到 0.01S/cm ,这是在比较高的半导体范围,这种纺织纤维在抗静电服饰、净化室以及医疗等领域有潜在应用价值。随后,Soroudi^[60,61]又通过熔融纺分别制备了聚丙烯/聚苯胺导电复合纤维和聚丙烯/尼龙 6/聚苯胺复合纤维,并对这两种复合物体系的流变性、导电性以及纤维内部结构进行了系统的研究。

Deng 等^[62]采用双组分结构在皮层加入抗静电剂并通过牵伸和退火工艺来控制导电网络形态制备

了高电导率的高强聚丙烯复合纤维。所制备的聚丙烯复合纤维电导率高达 275S/m,且抗张强度大约 500MPa,这是通过熔融纺丝制得电导率最高的聚丙烯纤维。纤维外层的多壁碳纳米管的含量约为 5% (wt),整个体系碳纳米管仅有 0.5% (wt)。其特征是外层是填充多壁碳纳米管的聚合物熔点较低的共聚聚丙烯导电复合材料,芯层是未填充的高熔点的均相聚丙烯。文中还详细研究了牵伸、退火工艺对聚丙烯复合纤维导电性能的影响。

3.3 抗紫外聚丙烯纤维

聚丙烯因具有良好的物理化学稳定性:疏水性、耐酸碱性、轻质以及不易霉变,广泛用于地毯、服装、人工草皮、网线绳索、防护服以及土工布等。聚丙烯纤维在这些应用中大多暴露于紫外线下,而聚丙烯的结构决定了其易受紫外线的照射加速老化。为了提高聚丙烯纤维的耐紫外老化性能,通常向聚丙烯切片中添加一些有机或无机的紫外线屏蔽剂或紫外吸收剂,通过熔融纺制得具有耐紫外老化性能的聚丙烯纤维。

赵家森等^[63]采用 PRT-1 型热天平、YG001A 型单纤维电子强力仪、CARY-50 型紫外分光光度计等现代测试仪器,研究了混入无机遮蔽剂的丙纶纤维的服用性能及其织物的防紫外线性能,结果发现:无机遮蔽剂的混入可大幅度提高丙纶纤维的抗紫外辐射能力,且对其主要服用性能无太大影响。

严玉蓉等^[64]在加速光老化实验条件下,研究超细二氧化钛、超细氧化锌、抗菌沸石(ZA)和乙烯-醋酸乙烯酯共聚物(EVA)对聚丙烯纤维光降解性能的影响。研究发现:超细氧化锌对基体聚丙烯表现出明显的光屏蔽性能,超细二氧化钛表现出光催化活性,ZA 和 EVA 仅作为光惰性填料存在。纤维机械性能的变化可采用指数函数进行拟合,拟合指数越大,材料的耐光老化性能越好。

Dulikova 等^[65]研究了聚丙烯纤维中纳米碳酸钙的紫外屏蔽效应,主要研究了改性聚丙烯纤维是如何影响紫外光的传输以及纳米添加剂对聚丙烯纤维抗紫外性能的影响。

纳米二氧化钛(TiO_2)具有紫外线吸收、屏蔽功能和抗菌效果,由于其化学性质稳定、热稳定性良好、无毒以及奇特的光学效应等许多优异的功能和性质,被广泛应用于纤维纺织品领域。纳米 TiO_2 因具有高折射率而散射大部分紫外线以及具有半导体性能而吸收紫外线,从而能提高聚丙烯纤维的光稳定性。

Marcinccaronin 等^[66]研究了勃姆石、有机粘土、纳米 TiO_2 和多壁碳纳米管等纳米填充材料对紫外光的屏蔽作用以及纳米填充聚丙烯纤维的光氧化和热稳定性。文章还研究了聚丙烯纳米复合物的紫外屏蔽作用、光稳定性和热稳定性之间的相互关系。

Erdem 等^[67]研究了纳米 TiO_2 掺杂聚丙烯长丝的紫外线防护性能。他们首先在纺丝前熔融共混制备 PP/ TiO_2 复合材料,再进行熔纺制得纳米 TiO_2 含量分别为 0.3%、1%和 3%的聚丙烯复合纤维。研究表明,通过对复合纤维的熔融、结晶过程以及力学性能的检测,纳米 TiO_2 的添加对其结构和力学性能影响轻微,而紫外防护性能的提高是非常显著的,当纳米 TiO_2 的添加量达到 0.3%时,其紫外线防护系数(UFP)可达到 50 以上;且当其填充量从 0.3%提高到 3%,在紫外线 A 区的透过率(T_{UVA})以及紫外线 B 区的透过率都显著下降直至为零。

3.4 阻燃聚丙烯纤维

聚丙烯纤维具有强度高、质量轻、易加工、成本低等优良特性。聚丙烯纤维已被广泛用于服装、室内装饰、地毯、卫生医疗、土工布、汽车产业、汽车用纺织品、各种家用纺织品以及墙布等。然而其极易燃烧,燃烧释放大热,火焰传播速度快,并伴有发烟、滴落现象,易引起大面积火灾;同时在燃烧过程中将释放大量的烟尘和有毒气体,造成窒息性气氛,对人生命安全造成巨大的威胁,从而限制了聚丙烯纤维的广泛应用。

根据相关的法律法规,这些织物必须具备一定的阻燃性,为了适应这些需求,必须对聚丙烯纤维进行阻燃改性。阻燃技术能够抑制、消除燃烧,延缓、抑制燃烧的传播,同时减少热引燃出现的概率。经过阻燃处理的聚丙烯纤维与未经过阻燃处理的聚丙烯纤维相比,前者难于燃烧,且火焰传播速度明显降低,有助于阻止火灾形成,提高聚丙烯纤维制品的使用安全性。

一般通过在熔纺过程中加入阻燃剂来实现聚丙烯纤维的阻燃性。用于聚丙烯纤维阻燃的阻燃剂一般应满足以下几点要求:(1)在聚丙烯加工过程中具有良好的热稳定性($>260^\circ\text{C}$);(2)与聚丙烯具有良好

的相容性且不会浸出或迁移;(3)应将有毒气体的释放量降低到可接受的水平;(4)应具有高效性,添加量应尽可能少(一般应小于 10% w/w),以降低生产成本并减小其对纤维力学性能的影响。

目前用于聚丙烯纤维阻燃的主要是含卤阻燃剂。奥地利的 Astoa 公司于上世纪 90 年代开始使用含卤阻燃剂制备阻燃聚丙烯纤维^[68]。所制备的阻燃聚丙烯纤维含卤量只有 1.5%(wt),尽管如此,越来越多针对含卤阻燃剂的禁令开始实施。这是因为含卤阻燃剂不仅在燃烧时会放出有毒气体,它的存在会进一步降低聚丙烯纤维的紫外/热稳定性,从而减短聚丙烯纤维制品的使用寿命。因此,从应用的角度考虑,含卤阻燃剂的阻燃性和这些缺点相矛盾。

美国 Dead Sea Bromine 公司研发了一种聚丙烯纤维用卤-磷阻燃剂:FR-372,其主要成分为三溴磷酸盐($[\text{CH}_2\text{Br}\cdot\text{C}(\text{CH}_2\text{Br})_2\cdot\text{O}]_3\text{PO}$),其分子中溴含量高达 70%(wt),再加上 3%(wt)的磷含量使得其成为一种高效阻燃剂。FR-372 的熔点为 181℃,在聚丙烯挤出温度下能够和聚丙烯形成熔融共混物,它的添加基本不影响聚丙烯的挤出性能。当 FR-372 的用量为 3~5%(wt)时,便可获得具有良好阻燃性的聚丙烯纤维。FR-372 的主要优点是用量少效果好而且无需添加协效剂如三氧化铋^[69]。

我们课题组早在 1997 年也开始对聚丙烯纤维阻燃性能进行了研究^[70],通过对一系列添加型阻燃剂包括溴系、磷溴系、铋系等的阻燃性、可纺性和纺丝环境的对比研究,确定了一种复配阻燃剂,结果表明该阻燃 PP 体系的流动性好、热性能稳定,所纺制的细旦丙纶初生纤维具有较好的可拉伸性能。

据报道,奥地利的 Asota 公司于 2002 年新开发了一种用于聚丙烯阻燃改性的无卤阻燃剂^[68]。采用该阻燃剂制备的聚丙烯纤维不仅表现出优良的阻燃性能,同时还能保持聚丙烯纤维原有的力学性能及光稳定性能,最大的优点是在燃烧时不会产生有毒或腐蚀性气体。

Calp 公司利用被称为 FR600 的无卤素阻燃剂生产的阻燃 PP 纤维,该纤维在火焰下不燃烧,只是熔融,而且即使在焚烧过程中也不会产生多氯乙苯(dioxins,即二噁英)。这种阻燃改性不影响纤维强度、抗紫外线性能,而且健康安全,并具有良好的可纺性和加捻性,已经在产业用纺织品方面得到广泛应用。

日本三菱人造丝公司开发了非卤系阻燃 PP 纤维(VALVER P II),它是一种全新的阻燃材料,可以保持 PP 的耐光性和机械性能、环境适应性,同时赋予阻燃性能。VALVER P II 采用了以受阻胺类(HALS)稳定剂为基础开发的全新阻燃剂:单分子型氮烷氧基(NOR)受阻胺稳定剂和磷系阻燃剂组合物^[71]。

出于环保的考虑,全球一些阻燃剂及阻燃材料生产和供应商对阻燃无卤化一直表现出相当大的热情,并取得了丰硕的成果。特别是最近几年,全球最大的卤系阻燃剂供应商(Alemarle 公司、Great Lake 公司、Dead Sea Bromine 公司)也转向无卤阻燃剂的开发,并开始供应他们的无卤产品。与此同时,国外有些阻燃塑料制造商也陆续开发出一些无卤阻燃产品。为了给人们的生命和财产提供更可靠的保障,聚丙烯纤维乃至其它纺织品高效阻燃功能化改性任重而道远。

3.5 其它功能

此外,为了适应消费者的广泛需求,聚丙烯纤维的功能化也是层出不穷,我们课题组也一直致力于聚丙烯纤维多功能方面的研究,如远红外^[72~74]、负离子发生^[75,76]、离子交换^[77~81]、亲水吸湿^[82~84]、防 X 射线^[85,86]等功能。

4 展望

PP 纤维由于其优异的物理化学性能,在许多领域得到了广泛应用,前景非常乐观。未来将朝着高效功能化、多功能化、高性能化发展;在生物应用领域也将会有一席之地。经过研究人员的不断努力和业界人士的大力推动,PP 纤维将迎来更灿烂的春天。

参考文献:

- [1] 陈彦模,朱美芳,张瑜,阎卫东,俞昊. 江苏纺织,1999,(Z1): 21~23.
- [2] 吴宏仁. 聚丙烯纤维的科学与工艺:下册. 北京:纺织工业出版社,1987.
- [3] 陈彦模,朱美芳,张瑜. 合成纤维工业,2000,(1): 22~27.

- [4] 谢延龙, 袁平. 纺织科学研究, 1997, (3): 7~10.
- [5] Hudson R L. USP 4296022-A. 1981.
- [6] Ind A C. GB 1145818A. 1968.
- [7] Ind A C. JP 63006107A. 1986.
- [8] 罗吉江, 陈彦模, 徐端夫, 张瑜, 刘勇, 朱美芳, 李玄, 李必忠. CN 1068603. 1993.
- [9] 陈稀, 仲蕾兰. 合成纤维工业, 1995, 18(2): 1~5.
- [10] 陈彦模, 张瑜, 朱美芳. 功能高分子学报, 1995, (1): 85~91.
- [11] 徐晓辰. 合成纤维, 2001, (2): 17~20.
- [12] 刻军, 胡清, 秦永宁, 刘春江, 李德旭. 合成纤维, 2005, (11): 36~39.
- [13] 王伟, 高亚光, 俞月莉, 周亚芳, 王来红. 合成纤维, 1997, (1): 43~46.
- [14] 胡芳. 合成纤维, 1999, (6): 52~55.
- [15] 黄欣, 朱美芳, 张瑜, 陈彦模. 合成纤维, 1998, (2): 18~22.
- [16] 孙友德. 合成纤维工业, 1986, (2): 43~48.
- [17] 刘汉兴. 合成纤维, 1985, (4): 6~11.
- [18] Ujhelyiova A, Bolhova E, Oravkinova J, Tiño R, Marcinčín A. Dyes Pigments, 2007, 72(2): 212~216.
- [19] 俞成丙, 厉雷, 陈彦模. 合成纤维工业, 2000, (4): 9~12.
- [20] 俞成丙, 厉雷, 朱美芳, 张瑜, 陈彦模. 合成纤维, 2000, 29(3): 35~37.
- [21] 俞成丙, 吴文华, 朱美芳, 陈彦模. 东华大学学报(自然科学版), 2000, 3.
- [22] 俞成丙, 马正升, 陈彦模. 金山油化纤, 2006, 25(1): 13~16.
- [23] 徐斌, 董擎之. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2005, 31(1): 91.
- [24] Takahashi T. 纖維学会誌, 2002, 58(10): 365~374.
- [25] Gupta V B, Bhuvanesh Y C. J Appl Polym Sci, 1996, 60(11): 1951~1963.
- [26] Yu C, Zhu M, Shong X, Chen Y. J Appl Polym Sci, 2001, 82(13): 3172~3176.
- [27] 黄欣, 俞昊, 陈彦模, 张瑜, 朱美芳. 东华大学学报(自然科学版), 2006, 2: 1.
- [28] Burkinshaw S M, Froehling P E, Mignanelli M. Dyes Pigments, 2002, 53(3): 229~235.
- [29] 李国平, 罗运军, 徐厚才. 现代化工, 2007, 1: 194~196.
- [30] 胡明, 徐德增, 郭静. 纺织学报, 2007, 28(7): 58~61.
- [31] 霍红亚, 张瑜, 陈彦模, 阎惠至. 合成纤维, 2009, 38(9).
- [32] 黄旭, 张炜栋. 丝绸, 2011, 48(4): 17~20.
- [33] 彭华湘, 陈彦模, 朱美芳, 张瑜, 邢强, 蒋翀, 孙宾. 中国稀土学报, 2004, 22(6): 791~794.
- [34] 彭华湘, 朱美芳, 陈彦模, 蒋翀, 乔祝云, 邢强. 合成纤维工业, 2005, 28(3): 1~3.
- [35] Toshniwal L, Fan Q, Ugbolue S C. J Appl Polym Sci, 2007, 106(1): 706~711.
- [36] Razafimahefa L, Chlebicki S, Vroman I, Devaux E. Color Technol, 2008, 124(2): 86~91.
- [37] Rabiei N, Kish M H, Amirshahi S H, Radjabian M. Dyes Pigments, 2012, 94(3): 386~392.
- [38] 郭晓, 陈彦模, 张瑜. 合成纤维工业, 2008, 2(31): 12~15.
- [39] Yu C, Jiang C, Chen Y. J Appl Polym Sci, 2008, 107(3): 1563~1567.
- [40] Yu C, Jiang C, Chen L, Chen Y. J Appl Polym Sci, 2009, 113(3): 1953~1958.
- [41] Strecka Z, Ujhelyiova A, Bolhova E, Alexy P, Borsig E. J Text I, 2010, 101(4): 315~323.
- [42] Yan H, Chen Y, Zhang Y, Wu W. E-Polymers, 2010, 30: 1~12.
- [43] 王萌. 季磷盐抗菌整理剂的合成与应用研究. 上海: 东华大学, 2013.
- [44] 江建明, 陈彦模, 穆淑华, 张玉梅. 合成纤维, 1997, (4): 5~8.
- [45] 李光, 江建明. 产业用纺织品, 2000, (6): 9~13.
- [46] 马晓光, 崔河. 合成纤维工业, 2002, (1): 4~7.
- [47] 吴建东, 陈国康. 合成纤维工业, 2005, (1): 63~65.
- [48] 王兴雪, 刘峻, 吴文华, 张瑜, 陈彦模, 朱美芳. 合成纤维工业, 2005, (2): 1~3.
- [49] Chiu C W, Lin C A, Hong P D. J Polym Res, 2011, 18(3): 367~372.
- [50] Dastjerdi R, Mojtahedi M, Shoshtari A M, Khosroshahi A. J Text I, 2010, 101(3): 204~213.
- [51] Dastjerdi R, Mojtahedi M, Shoshtari A M. Macromol Res, 2009, 17(6): 378~387.
- [52] 江建明, 张玉梅, 陈彦模, 张瑜. 合成技术及应用, 1995, (2): 21~23.
- [53] 刘丹丹, 宁平, 夏林. 合成材料老化与应用, 2004, (3): 43~47.
- [54] 丁长坤. 导电聚丙烯纤维的制备与性能研究. 天津工业大学, 2006.
- [55] 陈伟, 郭静, 白兰, 刘德志. 合成纤维工业, 2007, (5): 17~19.

- [56] Fryczkowski R, Biniak W, Farana J, Fryczkowska B, Wlochowicz A. *Synthetic Met*, 2004, 145(2-3): 195~202.
- [57] 李辰砂, 王清滨, 张宝友, 曹茂盛, 卢伟哲, 李志, 梁吉. *哈尔滨工业大学学报*, 2004, (4): 433~436.
- [58] Cayla A, Campagne C, Rochery M, Devaux E. *Synthetic Met*, 2012, 162(9): 759~767.
- [59] Soroudi A, Skrifvars M. *Synthetic Met*, 2010, 160(11-12): 1143~1147.
- [60] Soroudi A, Skrifvars M. *Polym Eng Sci*, 2012, 52(7): 1606~1612.
- [61] Soroudi A, Skrifvars M. *J Appl Polym Sci*, 2011, 119(5): 2800~2807.
- [62] Deng H, Skipa T, Bilotti E, Zhang R, Lellinger D, Mezzo L, Fu Q, Alig I, Peijs T. *Adv Funct Mater*, 2010, 20(9): 1424~1432.
- [63] 赵家森, 宗纪鸿, 杨建伟, 边栋材, 魏俊富. *纺织学报*, 2004, (6): 108~109.
- [64] 严玉蓉, 赵耀明, 曹珍年. *合成纤维工业*, 2004, (03): 16~18.
- [65] Duliková M, Strecka Z, Ujhelyiova A, Legěň J, Bugaj P. *Fibres Text East Eur*, 2010, 18(5): 82.
- [66] Marcincin A, Hricova M, Ujhelyiova A, Brejka O, Michlik P, Dulikova M, Strecka Z, Chmela S. *Fibres Text East Eur*, 2009, 17(6): 29~35.
- [67] Erdem N, Erdogan U H, Cireli A A, Onar N. *J Appl Polym Sci*, 2010, 115: 152~157.
- [68] Gleixner G, 潘玮. *国际纺织导报*, 2002, (S1): 11~12.
- [69] Zhang S, Horrocks A R. *Prog Polym Sci*, 2003, 28(11): 1517~1538.
- [70] 朱美芳, 汪晓峰, 张瑜, 陈彦模. *合成纤维工业*, 1997, (3): 13~16.
- [71] Shimizu Y, Yamamoto H, Sakakura H. *USP 6921504 B2*, 2005.
- [72] 薛少林, 阎玉霄, 王卫. *山东纺织科技*, 2001, (1): 48~51.
- [73] 朱美芳, 闫卫东, 江伟兰, 张瑜, 陈彦模. *材料科学与工程——中国科协第三届青年学术年会论文集*, 1998: 4.
- [74] 齐鲁, 马怡敬, 李和玉, 王学晨. *合成纤维工业*, 1998, (4): 10~12.
- [75] 蒋国治, 张彦, 张瑜, 吴文华, 陈彦模, 卜战友. *合成纤维*, 2004, (5): 13~15.
- [76] 朱伟员, 顾立新, 冯辉. *江苏化工*, 2001, (1): 27~29.
- [77] Park H J, Na C K. *J Colloid Interf Sci*, 2006, 301(1): 46~54.
- [78] Bazunova M V, Kolesov S V, Korsakov A V. *Russ J Appl Chem*, 2006, 79(5): 853~855.
- [79] Ustinova T P. *Fibre Chem*, 2005, 37(6): 473~477.
- [80] Titorenko E I, Ustinova T P, Kardash M M. *Fibre Chem*, 1998, 30(4): 273~275.
- [81] 冯长根, 周从章, 曾庆轩, 周绍箕. *化工进展*, 2003, 22(6): 568~572.
- [82] 刘松涛, 晏雄, 姜生, 唐晓亮. *纺织学报*, 2005, 26(3): 19~20.
- [83] 顾彪, 陈茹. *高分子通报*, 2003, 2: 51~58.
- [84] 张广威, 关桂荷, 胡祖明, 刘兆峰. *合成纤维*, 2004, (4): 5.
- [85] 张兴祥, 牛建津. *中国安全科学学报*, 1996, 6(2): 22~26.
- [86] 齐鲁, 段谨源, 王学晨, 牛建津. *纺织学报*, 1995, 16(2): 87.

Research Progress in Fine Denier, Dyeable and Functional Polypropylene Fibers

ZHANG Si-deng, WANG Xing-ping, SUN Bin, ZHOU Zhe, ZHANG Yu, CHEN Yan-mo, ZHU Mei-fang*

(*State Key Lab for Modification of Chemical Fiber & Polymer Materials, College of Materials Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China*)

Abstract: Polypropylene (PP) fibers are widely applied in various fields, this can be attributed to advantageous, namely easy processability, low specific, almost zero water adsorption, good chemical resistance as well as wide availability and low cost. In this paper, an introduction to the fine denier PP fibers, dyeable PP fibers, antibacterial PP fibers, antistatic PP fibers, anti-ultraviolet PP fibers and flame retardant PP fibers, as well as the application of nanotechnology in the dyeable modification PP fibers and functional PP fibers were introduced basing on recent literature reports and the research works in our research group. PP fibers are moving in highly efficient functional, multifunctional, and high-performance direction. PP fibers were expected to occupy an important position in the field of biomaterials for its excellent properties.

Key words: Polypropylene; Fibers; Fine denier; Dyeability; Functionalization