

聚丙烯纤维料树脂对无纺布性能的影响研究

汪家宝¹, 崔寅鑫¹, 王耀华², 易思善¹, 陈强², 马晶芬², 程江², 汪诗平¹

(1.聚烯堂(南京)供应链有限公司, 南京 210000;

2.东华能源(宁波)新材料有限公司, 浙江 宁波 315800)

摘要: **目的** 研究聚丙烯原料对无纺布的力学和加工性能的影响规律, 从而制备出力学性能高、纺丝性能好的无纺布。**方法** 以不同熔融指数的聚丙烯粉料为基础树脂, 使用不同的过氧化物与其进行共混熔融挤出造粒, 然后采用气相色谱、高温凝胶渗透色谱、拉伸等测试手段对样品的基础物性、分子结构、气味、VOC、残留物和无纺布的力学性能及加工稳定性等方面进行表征与分析。**结果** 以熔融指数 8 g/10 min (GB/T 3682.1—2018) 的粉料为基础树脂, 加入少量的 3,6,9-三甲基-1,4,7-三过氧壬烷, 挤出造粒制备出的 4 号树脂原料样品。该样品具有高的熔体流动性 (MFR 为 35~40 g/10 min)、窄的分子量分布 (3~5)、低灰分和鱼眼数、低气味、低残留的过氧化物等性能, 从而制成拉伸强度高、纺丝效率高且加工稳定的无纺布成品。**结论** 基础聚丙烯树脂的分子量设计、原料的配方体系、工艺路线都对无纺布制品的力学性能和可纺性产生重要影响。

关键词: 聚丙烯; 无纺布; 可控流变; 过氧化物; 纺丝

中图分类号: TQ325.1⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)15-0039-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.15.006

Effect of Polypropylene Fiber Resin on the Properties of Non-woven Fabrics

WANG Jia-bao¹, CUI Yin-xin¹, WANG Yao-hua², YI Si-shan², CHEN Qiang²,
MA Jing-fen², CHENG Jiang², WANG Shi-ping¹

(1. E-juxitang (Nanjing) Supply Chain Co., Ltd., Nanjing 210000, China;

2. Oriental Energy (Ningbo) New Materials Co., Ltd., Zhejiang Ningbo 315800, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of polypropylene raw materials on the mechanical and processing properties of non-woven fabrics, so as to prepare non-woven fabrics with high mechanical properties and good spinning properties. Polypropylene powder with different melt indexes was used as the base resin and mixed with different peroxides for melt extrusion granulation. The basic physical properties, molecular structure, odor, VOC, residue and mechanical properties and processing stability of the samples were characterized and analyzed by gas chromatography, high temperature gel permeation chromatography, tensile test, etc. No. 4 resin raw material sample prepared by extrusion granulation with a small amount of 3,6,9-trimethyl-1,4,7-triperoxynonane in the powder with a melt index of 8 g/10 min (GB/T 3682.1-2018) had high melt fluidity (MFR of 35-40 g/10 min), narrow molecular weight distribution (3-5), low ash content and fish eye count, low odor, and low residual peroxides, resulting in non-woven fabric products with high tensile strength, high spinning efficiency and stable processing. The molecular weight design of basic polypropylene resin, the formulation system of raw materials, and the process route all have a significant effect on the mechanical properties and

收稿日期: 2022-12-30

作者简介: 汪家宝 (1984—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为聚烯烃改性及加工应用。

通信作者: 崔寅鑫 (1987—), 女, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为聚丙烯改性及加工应用。

spinnability of non-woven fabric products.

KEY WORDS: polypropylene; non-woven fabric; controllable rheology; peroxide; spinning

聚丙烯纤维是以聚丙烯为原料通过熔融纺丝制成的一种纤维制品,是近年来合成纤维中发展最快的品种,按加工方法分可分为普通长丝、复合纤维膨体纱、短纤维、无纺布等^[1]。其中无纺布由于具有质轻、柔软、透气、易成型等优点,发展迅速,被广泛应用于一次性尿布、生理用品、卫生制品、服装原材料、绷带、包装材料等领域^[2]。

目前,工业生产中无纺布纤维料聚丙烯的方法主要有氢调法和可控流变法。氢调法是在聚丙烯(PP)聚合的过程中将氢气作为分子量调节剂,从而使原料树脂具有较高的熔体流动性^[3-4];可控流变法是向聚丙烯基础树脂中直接添加大量的过氧化物进行降解,在这种减黏裂化反应中,过氧化物形成过氧自由基,与聚合物骨架中的叔碳原子反应生成自由基,在挤出造粒机内,自由基发生链剪切反应,从而提高其熔融指数^[5-6]。氢调法制备的产品分子质量分布较宽,易产生断丝等现象,可控流变法制备的聚丙烯树脂的相对分子质量分布较窄,具有较好的成纤性能。但造粒时如果分解不完全,残留的过氧化物会使聚丙烯无纺布进一步降解,并产生气味^[7-8],使皮肤敏感人群产生不适而限制其在某些领域如医疗卫生、食品等领域的应用^[9-10]。在使用可控流变法制备聚丙烯纤维树脂的挤出造粒段内,除了过氧化物以外,还需添加抗氧化剂助剂包和吸酸剂硬脂酸钙,前者能够延长聚丙烯的氧化周期,降低树脂在加工后的变黄程度,提升了树脂加工过程的热稳定性,使得制品的使用更长久。一般使用受阻酚类主抗氧化剂和亚磷酸酯类助抗氧化剂的复合助剂包,而后者用于吸收聚丙烯聚合阶段残留的卤素离子,避免对下游加工设备造成腐蚀。

近年来,高档聚丙烯无纺布纤维专用树脂大部分需进口,尤其以美国埃克森美孚公司生产的型号3155E3为代表,主要用于生产品质要求较高的卫生医疗用品等^[11-12]。我国聚丙烯生产厂家已趋于使用可控流变法来开发生产无纺布纤维料专用树脂,但生产出来的产品质量良莠不齐。为了研究聚丙烯纤维料树脂对无纺布性能的影响规律,本实验工作分为3个步骤:第1步是制备不同工艺路线变量的聚丙烯树脂粒料,即先在聚合段通过氢调法制备低、中、高不同熔融指数的聚丙烯粉料,然后在挤出造粒段选择应用最早且最广泛的同一种过氧化物2,5-二甲基-2,5-双(叔丁基过氧基)己烷以及相同种类、含量的抗氧化剂助剂包和吸酸剂硬脂酸钙;第2步是制备相同工艺路线的聚丙烯粉料,但比较使用不同减黏降解的过氧化物,即温度稳定性和挥发性都不同的2,5-二甲基-2,5-双(叔丁基过氧基)己烷和3,6,9-三甲基-1,4,7-三过氧壬烷,以及添加相同种类和含量的抗氧化剂助剂包和吸

酸剂硬脂酸钙;第3步是采用气相色谱(GC)、高温凝胶渗透色谱(GPC)、拉伸测试等分析技术对前2步实验开发的纤维料聚丙烯的结构和性能及其制备无纺布的性能和加工工艺进行对比分析。

1 实验

1.1 试剂与仪器

主要试剂:熔体流动指数(MFR)分别为3、8、15 g/10 min的聚丙烯粉料,数均分子量 M_n 分别为74 388、41 033和35 399,重均分子量 M_w 分别为344 095、243 598和198 659,东华能源(宁波)新材料有限公司;过氧化物A为2,5-二甲基-2,5-双(叔丁基过氧)己烷,纯度为92%,诺力昂化学品(宁波)有限公司;过氧化物B为3,6,9-三甲基-1,4,7-三过氧壬烷,纯度为41%,诺力昂化学品(宁波)有限公司;抗氧化剂助剂包,巴斯夫有限公司;吸酸剂硬脂酸钙,发基化学品(张家港)有限公司。

主要仪器与设备:高速混合机SHR-20A,中外合资张家港白熊科美机械有限公司;LTE-26-40型双螺杆挤出造粒机,莱伯泰科有限公司生产;MFlow型熔体流动指数(MFR)测定仪,德国Zwick公司生产;Z005型万能拉力试验机,德国Zwick公司生产;HunterLab Agera黄色指数仪,美国Hunterlab公司生产;ME30-MFA型流延膜机,德国OCS公司生产;3Y 2770型鱼眼仪,美国Hunterlab公司生产;GPC-IR高温凝胶渗透色谱仪,西班牙Polymerchar公司生产;Agilent GC8890型气相色谱仪,美国安捷伦公司生产;Reicofil 4型纺粘设备,德国莱芬豪舍机械制造有限公司生产。

1.2 过程

1号试样以MFR为3 g/10 min的PP粉料添加助剂包和质量分数为0.07%的过氧化物A先预混再降解造粒制备;2号试样以MFR为15 g/10 min的PP粉料添加助剂包和质量分数为0.022%的过氧化物A先预混再降解造粒制备;3号试样以MFR为8 g/10 min的PP粉料添加助剂包和质量分数为0.045%的过氧化物A先预混再降解造粒制备;4号试样以MFR为8 g/10 min的PP粉料添加助剂包和质量分数为0.05%的过氧化物B先预混再降解造粒制备。上述试样在制备过程中都采用相同的助剂包,即质量分数分别为0.15%的抗氧化剂助剂包、0.05%的吸酸剂硬脂酸钙,而且采用相同的加工工艺参数:预混过程在高速混合机以2 000 r/min转速混合3 min完成,挤出造粒机的筒体温度为190~230 °C,切粒水温度为40~60 °C,最终所有试样的熔体流动指数都控制在35~40 g/10 min。

5号试样为某进口产品, 作为对照样品。

在宽为1 m的Reicofilt 4生产线上分别使用上述聚丙烯试样制造纺黏非织造布, 其中该生产线具有双模头, 其每米的长度具有约7 000个孔, 各孔的直径为0.6 mm。设定每个孔的产量为0.41 g/(孔·min), 生产线速度保持为250 m/min。在220~240 °C下, 经加热逐渐形成熔融状态的聚合物熔体, 经过滤装置过滤后送入纺丝分配器, 并由纺丝泵定量供应给喷丝头进行纺丝。从喷丝孔喷出的丝条经侧吹风冷却后进入牵伸区牵伸, 使丝条具有一定的强度。长丝经过牵伸后借助摆丝器的作用把丝条分布在成网装置上形成纤网, 并经辅助输送系统送入热轧黏合机轧压成布, 加工生产出的无纺布的织物定量为12 g/m²。

1.3 性能测试

熔融指数测试按GB/T 3682—2018进行, 测试条件: 温度为230 °C, 载质量为2.16 kg; 拉伸性能测试按ISO 527—1—2012进行; 黄色指数测试按HG/T 3862—2006进行; 鱼眼测试按GB/T 6595—1986进行; 灰分测试按GB/T 9345.1—2008进行; 使用凝胶渗透色谱法(GPC)测量样品的相对分子质量及其分布, 按GB/T 36214.4—2018进行测定, 具体测试条件: 色谱柱为3根串联的MIXED-B柱, 溶剂及流动相为1, 2, 4-三氯苯(含质量浓度为0.3 g/L的抗氧化剂2, 6-二叔丁基对甲酚), 柱温为150 °C, 流速为1.0 mL/min, 采用窄分布聚苯乙烯标样进行标定; 气味测试按SH/T 1828—2008进行; 树脂的挥发性有机化合物(VOC)和过氧化物的残留物的定量测试按静态顶空毛细管气相色谱法进行; 无纺布的断裂强度和伸长率测试按ISO 9073—3:1989进行。

2 结果与讨论

2.1 基础物理性能

从表1可以看出4号样品的灰分含量最低、拉伸模量最高、“鱼眼”数目最少, 可能是由于其选用较少添加量的低气味性过氧化物(质量分数约为0.05%)。与进口产品5号相比, 4号样品的拉伸、灰分等性能更优, 但其他性能相当。1号样品的灰分含量较高, “鱼眼”数目多, 黄色指数较高且表现不均匀, 因为其

粉料的熔融指数低, 需使用较多量的过氧化物(质量分数约为0.07%左右), 均匀分散性较差, 即存在过度降解产生熔融指数不一的聚合物凝胶的可能性^[13]。对取鱼眼部位进行了相对分子质量的测试, M_n 和 M_w 分别为2 650和8 960, 可见鱼眼为小分子低聚物。

2.2 相对分子质量及其分布

基于聚丙烯无纺布的应用特性, 纤维料需满足高流动性、窄分子量分布、低灰分、低鱼眼数等要求^[14], 尤其窄的相对分子质量分布是保证原料具有良好纺丝性能的关键^[15-16], 即可纺性是衡量聚丙烯原料纺制丙纶纤维难易程度的重要应用特性之一。要求如下: 相对分子质量较小, 使熔体黏度低, 即熔融指数为35~45 g/10 min, 能够纺较细的丝; 相对分子质量分布较窄, 分布越窄说明相对分子质量越均一, 分子性能越接近, 同时, 小分子链占比较多, 大分子链减少, 弹力减弱, 熔体性能向牛顿流体性能靠近。在高剪切速率下, 熔体黏度波动较小, 孔流区流动较稳定, 纺丝张力下降, 即熔体的流变性能稳定, 有利于保持均一的丝条直径。可控流变法指利用过氧化物分解的自由基攻击分子链上的叔碳原子, 以 β 剪断方式断开长分子链, 相对分子质量分布变窄, 从而改善聚丙烯原料的可纺性^[17-18]。

表2对比了5种树脂样品的相对分子质量及其分布的数据, 图1为相对分子质量分布曲线。由表2和图1可看出, 2号样品的相对分子质量分布最宽; 1号样品的相对分子质量分布较窄, 仅为3.65; 3号和4号样品的相对分子质量分布相对较窄; 5号进口产品的相对分子质量分布只有3.44, 纺丝工艺理论上最佳。

2.3 气味、挥发性有机物和过氧化物的残留量

在医疗卫生和食品行业等应用领域, 优异的纤维级聚丙烯原料树脂除了需要满足熔体流动指数高、鱼眼少、拉伸性能高等基本物性和窄的相对分子质量分布等技术参数以外, 还需要达到制备的无纺布成品气味的低等技术要求^[19]。气味性直接影响感观性能和使用性。气味测试按非织造布用聚丙烯树脂的行业标准进行, 此测试是通过人的嗅觉进行定性判断, 主观因素较强。因此, 需要结合使用静态顶空毛细管气相色谱法来测定粒料的挥发性有机化合物(VOC)^[20], 使用气相色谱法测定残留过氧化物的含量, 结果如表3所示。

表1 5种纤维料聚丙烯树脂的性能

Tab.1 Properties of five fiber PP resins

样品编号	熔融指数(MFR)/ [g·(10 min ⁻¹)]	灰分/%	拉伸屈服 应力/MPa	拉伸断裂 应力/MPa	拉伸断裂标 称应变/%	拉伸弹性 模量/MPa	黄色 指数	0.8 mm 鱼眼 数目(测试面积 为1 520 cm ²)	0.4 mm 鱼眼数目 (测试面积为 1 520 cm ²)
1号	36.9	0.026	34.7	21.8	488	1 325	0.2	8	35
2号	38.7	0.019	34.3	20.1	308	1 258	-1.2	2	5
3号	37.7	0.014	33.7	16.5	527	1 278	-1.5	2	1
4号	38	0.011	33.2	27.5	593	1 515	-1.8	0	1
5号	36.2	0.013	31.5	19.2	660	1 350	-2.3	0	1

表2 5种纤维料树脂的相对分子质量及其分布
Tab.2 Relative molecular mass and mass distribution of five fiber PP resins

样品编号	$M_n/10^4$	$M_w/10^4$	M_w/M_n
1号	4.3	15.7	3.65
2号	2.9	19.3	6.66
3号	3.8	18.1	4.76
4号	3.6	16.3	4.53
5号	4.8	16.5	3.44

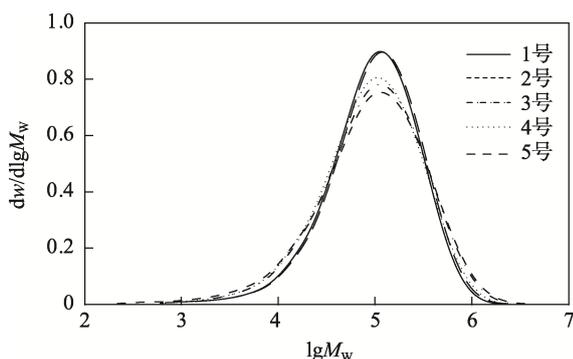


图1 纤维料树脂的重均分子量分布
Fig.1 Distribution of average molecular mass weight of fiber resin

由表3得出,1号样品的气味、VOC和残留的过氧化物含量最高;4号样品和5号产品的气味低,VOC和过氧化物含量也较低,说明MFR低的粉料添加较多的降解剂后,残留的过氧化物会使无纺布降解,制品挥发分较高,气味较重;而3号和4号样品的性能数据对比说明添加过氧化物助剂的种类也会影响气味等级。过氧化物A,即2,5-二甲基-2,5-双(叔丁基过氧基)己烷的分解产物,主要为丙酮、叔丁醇、叔戊醇等难挥发成分,在下游加工成制品时易产生异味;过氧化物B,即3,6,9-三甲基-1,4,7-三过氧壬烷的分解产物,主要为甲乙烷、乙酸乙酯等易挥发组分,很少残留在产品中,基本不会在下游无纺布加工时产生异味。

表3 5种纤维料树脂的气味等级、挥发性有机物和残留过氧化物含量
Tab.3 Odor levels, VOC and residual peroxide of five fiber PP resins

样品编号	气味等级*	挥发性有机物含量/ 10^{-6}	残留过氧化物含量/ 10^{-6}
1号	4级	295	12.7
2号	2级	152	2.8
3号	2.5级	183	5.9
4号	1.5级	105	1.9
5号	1.5级	97	1.3

注: *气味等级分类为1无气味;2有气味,但无干扰性气味;3有明显气味,但无干扰性气味;4有干扰性气味;5有强烈干扰性气味;6有不能忍受的气味。

2.4 过氧化物在加工温度下的分解半衰期

对1—5号样品而言,在纤维级聚丙烯树脂的挤出造粒段,过氧化物发生降解反应,它分解为自由基的最大速率时的温度应与聚丙烯的熔融温度相吻合。如要保证过氧化物在基础树脂中的衰变量最大,即保证残留最少,可通过计算不同温度下的过氧化物半衰期,以此作为挤出造粒段的加工工艺参数设置的理论指导^[21]。根据阿伦尼乌斯的反应速率公式计算过氧化物A(2,5-二甲基-2,5-双(叔丁基过氧基)己烷)和过氧化物B(3,6,9-三甲基-1,4,7-三过氧壬烷)的半衰期曲线如图2所示。由图2看出,随着降解温度的增加,2种过氧化物的半衰期时间降低,过氧化物A的降解速率高于过氧化物B,过氧化物A在180℃的半衰期时间低于40s;达到同样的半衰期时间过氧化物B的温度为195℃左右。加工温度不同,过氧化物的半衰期也不同,需要合理控制反应温度与时间的关系,要求过氧化物在挤出反应过程尽可能消耗完毕,并且在采用过氧化物B进行生产时需要更高的挤出温度。

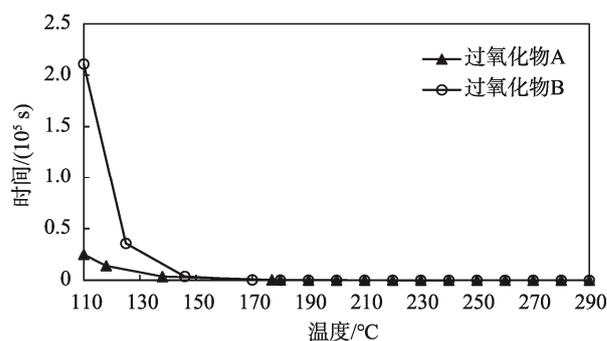


图2 过氧化物的半衰期曲线
Fig.2 Half-life curves of peroxides

除此之外,基础树脂的MFR不同,过氧化物的加入量也不同。随着基础树脂MFR的增加,即相对分子质量变小,过氧化物的用量也减少,能大幅降低过氧化物的残留以及产生的具有气味的副产物。这就进一步解释了表3对应的数据结果。

2.5 无纺布性能

2.5.1 力学性能

使用1—5号树脂原料来生产定量为 12 g/m^2 的双层ss无纺布。1、2号在生产过程中易出现断丝、并丝、滴浆等不良现象,而3、4、5号的生产过程平稳无异常。表4为这5种原料生产无纺布制品的性能数据,可见采用3号和4号树脂原料制备相同规格的无纺布产品,后者的拉伸性能和伸长率更加优良,说明聚丙烯原料中使用低挥发性低残留的过氧化物,无纺布制品的力学性能越好;而采用4号和5号进口树脂原料制备相同规格的无纺布产品的拉伸强度和断裂伸长率等性能相差不大。

2.5.2 过程加工性

纤维料聚丙烯树脂在纺丝和铺网的加工过程中易出现断丝、并丝、僵丝、滴浆、毛丝、条纹、纤维节点等不良现象。为了减少和避免出现不良现象,需监控挤出机过滤网的前后压力,并及时换网,保证制品的质量。可使用不发生断丝的最大喷射器压力、持续有效开机时间、过滤装置上滤网的更换情况、平均换网时间等参数来评估预测树脂原料加工成无纺布的工艺过程稳定性。由表 5 可看出, 1、2、3 号树脂原料样品在无纺布的加工过程中的不良性逐步得到改善,且 3 号样品对应的有效开机时间和平均换网时间最长,因此当粉料的熔融指数优选为 8 g/10 min 时,

对应无纺布的加工性能最佳。4 号样品相较 3 号样品而言,加工不良性得到进一步的改善,不发生断丝的最大压力也增加,有效开机时间和平均换网时间也有所延长,说明在纤维料聚丙烯的制备过程中使用低挥发性低残留的过氧化物对无纺布的加工有显著性改善。4 号和 5 号样品都能保证效果相当的纺丝连续性和稳定优异性,即未出现断丝、并丝、僵丝、破网等疵点现象问题,且生产的平均运行时间长、换网频次低、平均换网时间短。结合 2.2 节相对分子质量及其分布数据可看出,相对分子质量分布相对较窄的样品纺丝性较好,但如果添加降解剂含量高的样品 1,降解剂反应不充分,存在残留,也会引起熔融指数波动,可纺性也会降低。

表 4 无纺布制品的力学性能对比
Tab.4 Comparison of mechanical properties of non-woven fabrics

样品编号	纵向拉伸断裂强力/(N·cm ⁻¹)	横向拉伸断裂强力/(N·cm ⁻¹)	纵向断裂伸长率/%	横向断裂伸长率/%
3 号	16.4	12.9	41.9	46.3
4 号	18.4	15.6	49.2	54.8
5 号	18.1	15	51.3	56.9

表 5 无纺布加工稳定性评估
Tab.5 Evaluation on processing stability of non-woven fabrics

样品编号	不发生断丝的最大喷射器压力/MPa	模头	有效开机时间/h	滤网更换次数	平均换网时间/h	加工过程有无不良
1 号	3.7	A 头	63	9	6.9	经常有滴浆和破网现象
		C 头	61	8	6.4	
2 号	2.1	A 头	38	11	5.9	偶尔有断丝与并丝现象
		C 头	38	11	5.4	
3 号	4.5	A 头	70	6	7.7	少有并丝现象
		C 头	70	7	7.5	
4 号	4.8	A 头	82	5	8.4	无
		C 头	80	4	8.5	
5 号	5.3	A 头	84	3	8.5	无
		C 头	84	3	8.9	

3 结语

基于聚丙烯无纺布的应用特性,专用纤维料树脂的拉伸性能直接影响无纺布制品的断裂强度与伸长率,而熔融指数、相对分子质量分布、灰分含量、鱼眼数量、气味性、残留过氧化物的含量等树脂性能决定聚丙烯纤维的可纺性,尤其熔融指数、相对分子质量分布、残留过氧化物的含量是稳定均一的成纤关键因素。聚丙烯树脂的相对分子质量分布越窄、熔融指数的粉料适中、残留的过氧化物含量越低,无纺布制品的加工成纤性越好。通过熔融指数仪、GPC、GC 等技术手段可简便地预测专用料纺制成无纺布时的工艺过程稳定性。

基础 PP 树脂粉料的相对分子质量设计对无纺布

专用聚丙烯的性能起着至关重要的作用。选择最优微观分子结构的基础树脂 (MFR 为 8 g/10 min 左右),选择低气味性的过氧化物 (3,6,9-三甲基-1,4,7-三过氧壬烷) 并减少其加入量,同时保证最终产品的熔融指数 (35~45 g/10 min) 和相对分子质量及其分布 ($M_w/M_n=3\sim5$) 的要求,可制备出性能优异的专用纤维料树脂,且用其生产无纺布,与进口产品无明显差异,制品的性能质量满足医疗卫生用品的要求。

参考文献:

- [1] 洪定一. 聚丙烯——原理、工艺与技术[M]. 2 版. 北京: 中国石化出版社, 2011: 683-686.
HONG Ding-yi. Polypropylene-Principle, Technology and Technology[M]. 2nd ed. Beijing: China Petrochem-

- ical Press, 2011: 683-686.
- [2] 内罗·帕斯奎尼. 聚丙烯手册[M]. 胡友良译. 北京: 化学工业出版社, 2008: 231-232.
PASQUINI N. Polypropylene Manual[M]. Translated by HU Y L. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 231-232.
- [3] 杨进华, 李杰, 吴日清, 等. 氢调法抗菌无纺布用聚丙烯树脂的开发[J]. 化工新型材料, 2022, 50(6): 250-253.
YANG Jin-hua, LI Jie, WU Ri-qing, et al. Development of Antibacterial PP Resin for Non-Woven Fabric by Hydrogen Regulation Method[J]. New Chemical Materials, 2022, 50(6): 250-253.
- [4] 白晓琪. 化学降解法生产高熔融指数聚丙烯的质量控制经验[J]. 煤炭加工与综合利用, 2021(5): 78-79.
BAI Xiao-qi. Quality Control Experience in the Production of High Melting Polypropylene by Chemical Degradation Process[J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2021(5): 78-79.
- [5] MIRABELLAR F M. New Advances in Polyolefins: Structure and Thermodynamic Aspects of Phase Segregation of Commercial Impact Polypropylene Copolymers[M]. New York: Plenum Press, 1993.
- [6] 游纪曾. 有机过氧化物在聚丙烯生产中的应用[J]. 金山油化纤, 1997(2): 25-27.
YOU Ji-zeng. Application of Organic Peroxide in Polypropylene Production[J]. Jinshan Oil Chemical Fiber, 1997(2): 25-27.
- [7] 王少春. 合成纤维[M]. 北京: 中国石化出版社, 2006.
WANG Shao-chun. Synthetic Fibre[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2006.
- [8] 李秀军. 可控流变工艺生产无纺布专用 PP 树脂[J]. 合成树脂及塑料, 2012, 29(6): 1-4.
LI Xiu-jun. Production of Special PP Resin for Non-Woven Fabric by Controllable Rheological Process[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2012, 29(6): 1-4.
- [9] 曹圣贤, 刘晓亮. 无纺布专用聚丙烯树脂 PPH-Y35 的开发[J]. 河南化工, 2016, 33(8): 25-29.
CAO Sheng-xian, LIU Xiao-liang. Development of Polypropylene Resin PPH-Y35 for Non-Woven Fabrics[J]. Henan Chemical Industry, 2016, 33(8): 25-29.
- [10] 蒋文军, 周丹东, 李国飞. 不同工艺生产的高流动性均聚聚丙烯纤维 Z30S 性能对比[J]. 橡塑资源利用, 2016(1): 9-11.
JIANG Wen-jun, ZHOU Dan-dong, LI Guo-fei. Performance Comparison of High Fluidity Homopolymer Polypropylene Fiber Z30S Produced by Different Processes[J]. Rubber & Plastics Resources Utilization, 2016(1): 9-11.
- [11] 郑晓曦. 高熔融指数聚丙烯生产过程中降解剂的用量控制[J]. 化工技术与开发, 2013, 42(11): 59-60.
ZHENG Xiao-xi. Controlling of Degradation Agent in Production of High Melt Index Polypropylene[J]. Technology & Development of Chemical Industry, 2013, 42(11): 59-60.
- [12] 朱维权. 高档无纺布聚丙烯专用料开发研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2019.
ZHU Wei-quan. Research and Development of High grade Non woven Polypropylene Special Material[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2019.
- [13] 王朝晖, 郭飞. H39S 生产初期“鱼眼”不合格原因分析及措施[J]. 石化技术, 2010, 17(3): 12-13.
WANG Zhao-hui, GUO Fei. The Analysis of Causes and Countermeasures to Unqualified PP Fiber Materials[J]. Petrochemical Industry Technology, 2010, 17(3): 12-13.
- [14] 熊炳坚, 赵延庆, 姜建军. 无纺布专用聚丙烯树脂 PPH-Y35 的开发[J]. 浙江化工, 2017, 48(6): 20-22.
XIONG Bing-jian, ZHAO Yan-qing, JIANG Jian-jun. The Development of Special Polypropylene Resin PPH-Y35 for Nonwoven Fabric[J]. Zhejiang Chemical Industry, 2017, 48(6): 20-22.
- [15] 徐险峰. 聚丙烯无纺布专用树脂的开发[J]. 合成树脂及塑料, 2008, 25(1): 48-49.
XU Xian-feng. Development of Special Polypropylene Non-Woven Resin[J]. Synthetic Resin and Plastics, 2008, 25(1): 48-49.
- [16] 刘玉军. 纺粘和熔喷非织造布手册[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2014: 458-460.
LIU Yu-jun. Handbook of Spunbonded and Meltblown Nonwovens[M]. Beijing: China Textile Press, 2014: 458-460.
- [17] 洪定一. 塑料工业手册-聚烯烃[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999: 623-626.
HONG Ding-yi. Handbook of Plastic Industry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1999: 623-626.
- [18] 殷敬华, 莫志深. 现代高分子物理学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 186-200.
YIN Jing-hua, MO Zhi-shen. Modern Polymer Physics[M]. Beijing: Science Press, 2001: 186-200.
- [19] 陈锋, 张苾源, 赵延庆, 等. 氢调法与降解法生产无纺布专用树脂对比[J]. 合成树脂及塑料, 2020, 37(5): 39-42.
CHEN Feng, ZHANG Yi-yuan, ZHAO Yan-qing, et al. Comparison of Hydro-Regulating and Degradation for Non-Woven Fabric Resin Specialty[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2020, 37(5): 39-42.
- [20] 康鹏. 口罩用熔喷聚丙烯及无纺布中 VOCs 形成机理研究[J]. 合成树脂及塑料, 2022, 39(2): 20-24.
KANG Peng. Mechanism of VOCs Formation in Melt-Blown PP Resin and Nonwoven Fabric for Mask[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2022, 39(2): 20-24.
- [21] MCNEILL C, ZULFIGAR M, KOUSAR T. A detailed Investigation of the Products of the Thermal Degradation of Polystyrene[J]. Polym Degrad Stab, 1990, 183(28): 131-151.