

综 述

芳纶 1313 纤维制备技术进展

陈 蕾, 胡祖明, 刘兆峰

(东华大学纤维材料国家改性重点实验室, 上海 200051)

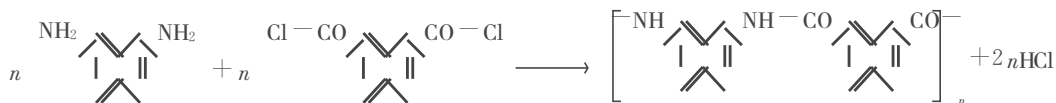
摘要:在 41 篇参考文献的基础上, 综述了耐高温芳纶 1313 纤维的制备技术、改性及进展, 比较了几种纺丝方法的优缺点, 提出了适合我国国情的芳纶 1313 纤维的工艺路线。

关键词:芳纶 1313; 纤维; 纺丝方法; 进展

全芳香族聚酰胺泛指至少有 85% 的酰胺键和两个芳环相连的长链合成聚酰胺, 由此类聚合物制得的纤维称为芳香族聚酰胺纤维(Aramid fiber)。在我国, 此类纤维被称作芳纶, 其中间位芳香族聚酰胺-poly(*m*-phenylene isophthalamide)(MPD-I)纤维称为芳纶 1313。芳纶 1313 纤维有着优秀的耐热性、耐焰性和纺织加工性能, 虽然价格比常规纤维高出 10 倍, 但在有特殊需要的场合, 它有着不可替代的作用。芳纶 1313 是耐高温纤维中发展的最好的一个。它的用途主要集中在热防护服、滤材、阻燃装饰布。芳纶 1313 纤维为原料的防护服包括产业用、军用、消防用。作为滤材, 芳纶 1313 滤布的连续最高使用温度是 204℃。芳纶 1313 还可以造纸, 一方面作为 H 级的耐高温电器绝缘纸, 一方面用于制造蜂窝材料。目前, 芳纶 1313 的用途不仅仅局限于产业用纺织品, 还广泛应用于民用产品, 如阻燃的纺织装饰材料, 床上用品等^[1]。

1 纤维的结构和性能

聚间苯二甲酰间苯二胺是由间苯二胺和间苯二甲酰氯缩聚而成, 化学反应式为:



芳纶 1313 纤维大分子中的酰胺基团以间位苯基相互连接, 其共价键没有共轭效应, 内旋转位能相对对位芳香族聚酰胺纤维低一些, 大分子链呈现柔性结构, 其强度及模量和通常的聚酯、尼龙相当^[2]。

芳纶 1313 纤维的结晶结构为三斜晶系^[3], 亚苯基环的两面角从酰胺平面测量为 30°。这是分子内相互作用力下最稳定的结构。芳纶 1313 单元的结晶尺寸为: $a=0.527\text{nm}$, $b=0.525\text{nm}$, $c=1.13\text{nm}$, $\alpha=111.5^\circ$, $\beta=111.4^\circ$, $\gamma=88.0^\circ$, $Z=1$ 。 c 轴的长度表明它比完全伸直链短 9%。亚苯基-酰胺之间和 C-N 键旋转的高能垒阻碍了芳纶 1313 分子链成为完全伸直链的构象。它的晶体里的氢

基金项目:江苏省 2003 科技攻关项目资助;

作者简介:陈蕾(1971—), 女, 副研究员, 在职博士, 主要从事高性能成纤高聚物的合成及成形工艺研究, 发表论文二十余篇, 曾获得上海市实用新型专利奖一项。

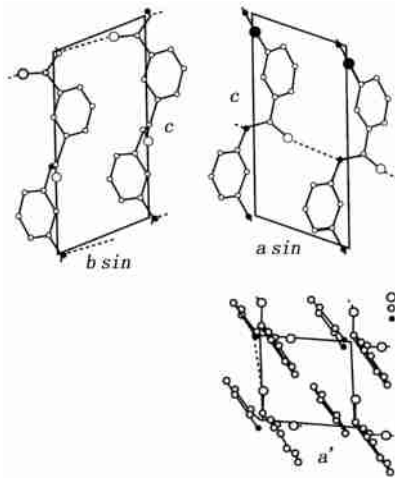


图 1 芳纶 1313 纤维的结晶结构
Figure 1 The crystal structure of MPD-I fibers

键作用强烈,使其化学结构稳定,赋予 MPD-I 纤维优越的耐热性、阻燃性和耐化学腐蚀性。

芳纶 1313 纤维的玻璃化温度为 270℃,热分解温度为 400~430℃。无论是在氮气还是空气氛围中,在 400℃时纤维的失重小于 10%,在 427℃以上开始快速分解。芳纶 1313 纤维有很好的耐焰性能,极限氧指数为 29%。在火焰中不会发生熔滴现象,而且如果在会熔滴的化学纤维中混纺少许的芳纶 1313 纤维也能够防止熔滴现象。芳纶 1313 纤维离开火焰会自熄,在 400℃的高温下,纤维发生碳化,成为一种隔热层,能阻挡外部的热量传入内部,起到有效的保护作用^[4]。芳纶 1313 纤维耐溶剂性能好,特别是有机溶剂,耐酸型好于尼龙,但比聚酯纤维略差,常温下的耐碱性很好,但高温下在强碱中容易分解。芳纶 1313 纤维的耐辐射性以及耐昆虫和细菌的腐蚀性能也很好。美国杜邦公司生产的商标为 Nomex 的芳纶 1313 纤维的力学性能如表 1 所示,和普通的服用纤维相似,具有良好的纺织加工性能。

2 芳纶 1313 纤维的制备

芳纶 1313 具有优异的耐热性,没有熔点,在熔融以前就已分解,所以采用溶液纺丝的方法制造,而且溶液纺丝的三种方法都可使用,包括湿法纺丝、干法纺丝和干湿法纺丝。湿法纺丝和干法纺丝的主要区别在于前者是纺丝原液从喷丝头中压出后进入凝固液而后者是从喷丝头压出后进入纺丝甬道,而干湿法纺丝则是纺丝原液从喷丝头中压出后经过一段空气层再进入凝固浴。

表 1 Nomex 纤维的力学性能
Table 1 The mechanical properties of Nomex fibers^[5]

产品型号	430		450	455/462	N301
用途	长丝、强度高、耐腐蚀性能好		强度较高的短纤维	含有 Kevlar 的短纤维,用于高性能防护服	
纤度	1333dtex/600	1778dtex/600	1.5dpf	1.5dpf	1.5dpf
密度/(g·cm ⁻³)	1.38	1.38	1.37		
回潮率/%	4.0	4.0	8.2	8.3	8.3
强力/(cN·dtex ⁻¹)	5.4	5.3	3.15	2.83	3.05
断裂伸长/%	30.5	31.0	22	21	19
初始模量/(cN·dtex ⁻¹)	102	92.5	—	—	—
钩结强度/(cN·dtex ⁻¹)	4.46	4.25	—	—	—

2.1 干法纺丝

干法纺丝是较早应用于芳纶 1313 纤维制造的方法,美国杜邦公司就采用这种纺丝方法。干法纺丝相比于湿法纺丝,其纤维结构较为致密,在纤维凝固阶段,产生的空洞较小而且孔径分布均匀。芳纶 1313 纤维干法纺丝的基本工艺流程为:将低温溶液缩聚所得的纺丝液用氢氧化钙中和,得到

约含 20% 聚合物及 9% CaCl_2 的 N, N' -二甲基乙酰胺(DMAC)溶液,经过滤后加热到 $150\sim 160^\circ\text{C}$,经过 160°C 的喷丝头进入温度为 265°C 纺丝甬道,长度为 5.5m,气氛为氮气、二氧化碳和少于 8% 的氧气。然后经过十道的沸水水洗,同时进行拉伸,拉伸倍数为 4~5 倍,然后干燥,再于 $300^\circ\text{C}\sim 400^\circ\text{C}$ 下紧张热处理 1.1 倍,以消除纤维拉伸时产生的内应力。低温溶液缩聚的中和产物中含有的盐约占聚合物基的 45%,盐的存在有利于聚合物的溶解和浆液的稳定,但如果不能最大限度地除去最终纤维产品的盐,将会影响到纤维的物理机械性能和电绝缘性能。有资料表明,这种纺丝方法技术的关键在于提高浆液的温度,这样能提高初生纤维中盐的脱除率,原因可能在于这时产生的空洞小而且孔经分布均匀^[6]。

2.2 两步法湿法纺丝工艺

湿法纺丝是日本帝人公司采用的工业化生产的方法。芳纶 1313 树脂由界面聚合制备。由于采用聚合物的再溶解制备纺丝原液,其中盐的含量就可以进行控制,所以此时助溶剂的含量一般在 3% 以下,最多不超过 5%。湿法纺丝的工艺流程为湿法纺丝的一般流程:纺前原液温度控制在 22°C 左右,原液进入比重为 1.366 的含 DMAC 和 CaCl_2 凝固浴中,浴温保持 60°C ,得到的初生纤维经水洗后,在热水浴中拉伸 2.73 倍,接着再进行干燥,温度为 130°C ,然后在 320°C 的热板上再拉伸 1.45 倍而制得成品^[7]。这种方法需要聚合物的再溶解,工艺流程长,溶剂回收量大,同时由于纤维在凝固时产生较大空洞,故而需要在高温下进行拉伸,使得成品纤维的结晶度较大。

2.3 干湿法纺丝

干湿法纺丝是最先由美国孟山都公司综合干纺和湿纺的优点,提出了干喷湿纺的工艺,其流程如下^[8]:

采用这种工艺,由于纺丝液细流出喷丝孔后,先通过空气层,能够大大提高喷头拉伸,所以拉伸倍数大,定向效果好,耐热性高。如湿纺纤维在 400°C 下热收缩率为 80%,而干喷湿纺纤维 $< 10\%$,湿纺的零强温度为 440°C ,干纺为 470°C ,而干喷湿纺可提高到 515°C 。

此后,日本帝人公司^[9]和德国 Hoechst 公司也发表了这方面的专利^[10,11]。他们提出的干湿法纺丝工艺使用了两个凝固浴,纺丝液出喷丝头后经过空气隙先进入含有有机溶剂的水溶液凝固,然后再进入氯化钙水溶液的第二凝固浴,后经过水系、热水拉伸、干燥和干热拉伸可得到强度大于 4cN/dtex 的纤维。

台湾工业技术研究所所有专利^[12]认为,在干湿法纺丝中,从凝固浴中出来的纤维应充分地溶剂化以保证好的拉伸性能,所以通常的工艺下,凝固液中氯化钙含量较高(大于 40%),从而降低氯化钙从纤维向外扩散的速度,但同时凝固浴的温度又常常大于 50°C ,又会加速氯化钙的扩散速度,为了解决这对矛盾,提出了一种以低温的无盐的有机溶剂的水溶液作为凝固浴,而且有 60% 的拉伸是在低温的拉伸浴中进行的干湿法纺丝的新方法。按这种方法制得的纤维性能可达到使用要求。这种方法降低能耗,有利于降低成本。

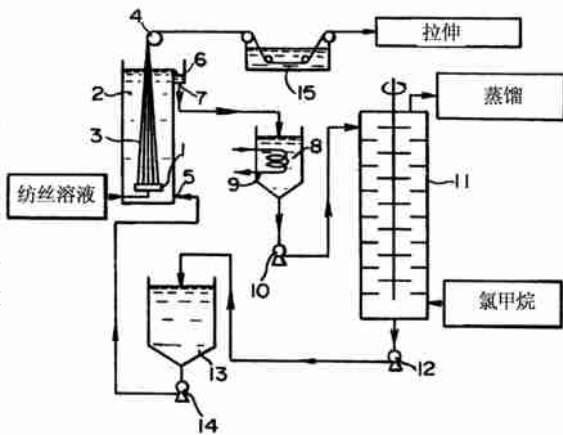


图 2 帝人公司湿法纺丝工艺图

Figure 2 The flowchart of wet-spinning of MPD-I fibers.

1—喷丝板;2—凝固浴;3—长丝;4—卷绕辊;

5—凝固浴循环;6—凝固浴溢出口;7—凝固浴出口;

8,13—储罐;9—冷却夹套;10,12,14—泵;

11—萃取塔;15—水洗浴

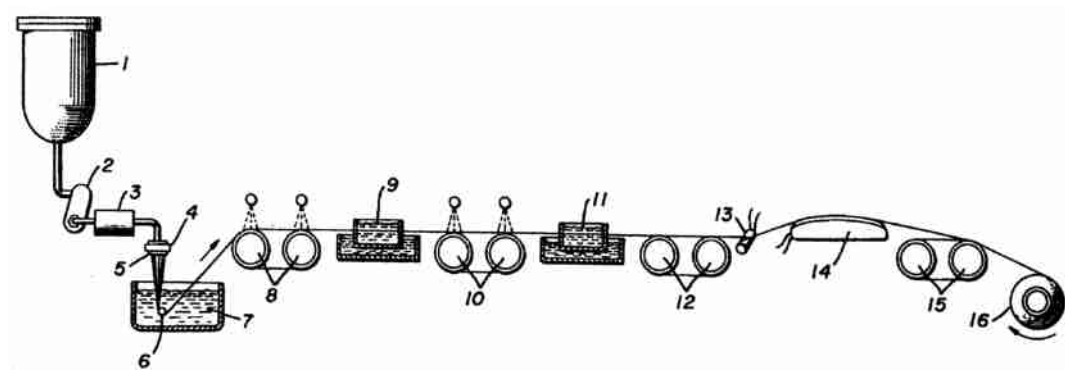


图 3 干喷湿纺流程图

Figure 3 The flowchart of dry-jet wet-spinning of MPD-I fibers

1-浆液贮桶;2-计量泵;3-过滤器;4-喷丝组件;5-喷丝帽;6-导丝辊;7-凝固浴;8-第一导辊;
9-热水拉伸浴;10-喷淋拉伸辊;11-整理浴;12-干燥辊;13-加热销;14-热管;15-拉伸辊;16-绕丝筒

2.4 工业化纺丝工艺比较

美国杜邦公司的工艺路线如下^[13]：

溶液聚合 → 中和 → 干法纺丝, 水洗 → 拉伸 → 热处理

日本帝人公司的工艺路线如下^[13]：

界面聚合 → 聚合物分离 → 聚合物溶解 → 湿法纺丝, 水洗 → 拉伸, 热处理

表 2 两工业化生产工艺比较

Table 2 The comparison of two industrialized process

	美国杜邦公司	日本帝人公司
生产工艺	低温溶液聚合-干法纺丝	界面聚合-湿法纺丝
类型	一步法	两步法
产品类型	长丝、短纤、纸	短纤、短切纤维、纱线
纺丝速度	高	低
喷丝头孔数	较少	很多
纤维性能	好	差
纤维结构	致密、均匀	多孔、不均匀
生产效率	较低	高
溶剂回收	复杂	简单
设备	复杂	简单

两个公司选择了完全不同的两种工艺路线,这是因为不同的聚合工艺需要和不同的纺丝工艺相结合。湿法纺丝的纺丝原液局限于低含盐(通常是小于 3%)的聚合物溶液,而由低温溶液聚合制备的纺丝原液的盐含量在 7%~9%,从已有的文献中清楚地看出由含盐纺丝溶液湿纺制取间位芳香族聚酰胺存在困难,由高含盐聚合物溶液湿法纺丝制取的纤维普遍的特征是存在大空洞,这些空洞影响到纤维有效进行拉伸的能力,拉伸后,含空洞的纤维不仅容易发生较大程度的纤维断裂,而且即使那些顺利地 完成拉伸的纤维,所形成的机械强度仍然显著低于干法纤维或无盐聚合物溶

液湿纺纤维能达到的性能,干法纺丝及低含盐聚合物溶液的湿法纺丝是迄今为止工业化生产不含大空洞纤维的方法。

2.5 一步法湿纺工艺

由于湿法纺丝工艺容易控制,而且喷丝板的孔数可以达上万孔,生产效率高,所以研究人员一直致力于湿法纺丝的一步法工艺的研究,主要有以下两种途径:

2.5.1 降低纺丝原液中盐的含量 一种方法是用液氨作为中和剂,但在聚合物浓度较高时过滤变得非常困难,由此产生的一种变通的方法是先进行预聚、中和、缩聚和再中和,即先将间苯二胺和摩尔百分含量 90% 的间苯二甲酰氯低温预聚,然后用液氨沉淀大部分的氯化氢,离心以除去氯化铵结晶,上层清液再回到反应器中,并于 30~45℃ 下加入剩余的间苯二甲酰氯至合适粘度,最后用氢氧化钙加 DMAC 的淤浆中和至 pH=6.5。这样可使该溶液含有聚合物基准的 4.3% 的盐。这种方法的缺点在于,氯化铵结晶不易清除,喷丝孔容易被堵,而且在进一步的聚合过程中,反应单体的摩尔配比也不易控制^[14,15]。

日本帝人公司的专利提供一种方法,在聚合反应完成以后,一部分聚合生成的氯化氢用氢氧化钙的溶剂分散体中和,生成的氯化氢的中和率为 10%,然后,在溶液中加入氢氧化钠的水溶液,生成的氯化钠沉淀压滤除去,所得固含量为 14% 的溶液中含有聚合物基准 15% 的氯化钙。这种方法过滤压力偏大,在 $3.92 \times 10^5 \text{ Pa}$ ^[16]。

美国杜邦公司的专利提出用离子交换树脂除去聚合反应液中的氯化氢。为了降低聚合物的粘度以便顺利地通过离子交换树脂,常常采用较低的聚合物浓度,而在通过交换树脂以后再除去部分溶剂从而达到所需的溶液粘度和固含量。也可以将聚合物溶液分作两部分,一部分用离子交换树脂除去氯化氢后与剩余部分混合,从而降低整个溶液的氯化氢含量^[17]。

2.5.2 高含盐的纺丝原液的纺丝工艺 调整纺丝工艺以获得具有好的物理机械性能的纤维。有文献报道用含硫氰酸钙的凝固浴来改善强度^[18]。在聚合物纺丝溶液中加入蜡以改善纤维的物理性能^[19]。日本帝人公司的专利^[20]提出通过调节卷绕丝在湿拉伸中的溶剂含量已获得高强度芳纶 1313 纤维的方法,其工艺流程如下:

喷丝板 → 凝固浴 → 第一溶剂调整浴 → 纤维溶剂含量 15%—30% → 第一湿拉伸浴 → 第二溶剂调整浴
成品纤维 ← 后处理 ← 干热拉伸 ← 干燥 ← 第二湿拉伸浴 ← 纤维溶剂小于含量 15% ←

这样制得的纤维强度可达到 5.7cN/dtex 以上,比通常芳纶 1313 纤维高 50%。日本帝人公司专利^[21]采用不含盐的酰胺类溶剂水溶液作为凝固浴,得到均匀致密的芳纶 1313 纤维。

美国杜邦公司也发表了类似的专利,是让纤维在离开凝固浴溶液后经过一个目的在于提高纤维的拉伸性能的调制过程,然后再进行充分的湿拉伸,经过低于玻璃化温度的干燥不需要进行任何热处理便可获得相当理想的物理性能,而且可用传统芳香族聚酰胺纤维的染色工艺进行染色^[22]。这种方法的关键在于用调质步骤维持纤维中溶剂的浓度以便使纤维塑化,纤维不仅被调质溶液稳定化,而且被溶剂所润胀,经过这样的稳定化,纤维便可以顺利拉伸而不致断裂,在拉伸张力的作用下,任何可能存在的大空洞,随着聚合物被强制改变为伸长的形状,都将一一缩瘪。

总之,最近芳纶 1313 纤维湿法纺丝的研究较多。

2.6 其他成形方法

台湾工业技术研究所的专利^[23]提出将未经过中和的溶液聚合产物制成冻胶,然后萃取掉其中的溶剂以沉淀聚合物,同时对其进行拉伸,可制得连续的纤维、薄膜或不连续的浆粕。这种冻胶的

形成和聚合物的相对分子质量、溶液组成、溶剂的溶解能力、温度和水的含量都有关系,而且这种冻胶是热可转变的。

日本帝人公司提出了比较适合纺制粗旦的棕丝的熔融成形方法。一种方法^[24]是采用界面聚合得到的较疏松的多孔的聚合物颗粒,在 320°C 、 $1 \times 10^7 \text{ kg/cm}^2$ 的压力下挤出得到 610d 的纤维,纤维界面很圆整,避免了溶液纺丝粗旦纤维时纤维截面不规则的缺点;而且可得到高度取向但不结晶的纤维。另一种方法实际是一种增塑熔融^[25],它是将分散了氯化锂的粉末的芳纶 1313 聚合物粉末和氯化锂的 DMAC 溶液混合,在低温下捏合成一种胶状物,常温下放置 10h 后得到固态聚合物浓溶液。其中聚合物含量为 40%,氯化锂含量为聚合物基的 50~80mol%。这种固体聚合物可以在 140°C 以熔融纺丝的方法挤出,挤出速度 40m/min ,在空气中行进 2m 后进入水中以 80m/min 速度卷绕,可纺性良好,随后经过 2.3 倍 120°C 的拉伸、水洗、干燥和 340°C 下 1.4 倍的拉伸的强度大于 3.5cN/tex 的有光泽的纤度为 110d 的棕丝。

芳纶 1313 聚合物属于极性分子,所以可以采用静电纺丝的方法成形^[26]。这种方法可制得平均直径为 150nm 的纳米纤维,其结晶结构和常规的芳纶 1313 纤维相似,这种纤维最大的特点是具有很高的比表面积。

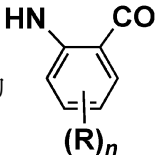
3 芳纶 1313 纤维的改性

3.1 染色性能

芳香族聚酰胺纤维分子排列紧密,染料分子不易进入,因此其染色性能较差,特别是深色的染色牢度差。对于高结晶度的湿法纺丝纤维,此问题尤为突出。所以染色性能的改善是一个主要的研究方向。用含有磺酸基团的单体进行共聚^[27],其含量为至少 0.2%(wt)。用亚二甲苯基二胺为第三单体共聚制得的 MPIA 的共聚物作为改性剂与 MPIA 浆液混合纺丝,所得纤维的深色染色牢度大大提高^[28]。或者以间位的亚二甲苯基二胺代替间苯二胺和间苯二甲酰氯共聚,所得的共聚物和 MPIA 共混纺丝,所得纤维在保持好的耐热性的同时具有好的染色性能^[29]。烷基苯磺酸盐^[30]可作为改性剂。还有研究采用紫外光辐照的方法^[31],用 248nm 波长的紫外光,以 $20 \sim 450\text{mJ/cm}^2$ 的强度处理纤维样品后,可进行阳离子染色。其他还有通过改变阳离子染色载体以提高芳纶 1313 纤维染色性的方法^[32,33]。

3.2 抗紫外光性能

芳纶 1313 纤维由于大分子链上有酰胺基团,在紫外光的照射下会发生断链,从而引起物理机械性能的变坏。如果是原色纤维,会导致纤维颜色变深。一种方法是共聚改性,如在大分子链上引

入如下结构 , 含量在 0.1%~50%,可以显著提高光照稳定性,同时仍然保持好的机械

性能和热稳定性^[34]。由于这种破坏主要集中在纤维的表面,所以采用表面改性的方法优点也很显著。用含有 2~20%(wt)的碘和 3~15%(wt)的碘化钾的水溶液的对纤维进行处理^[35],在 150°C 下处理 10~60min。或者对纤维表面进行 N-乙酰化处理,常用的乙酰化剂为乙酰氯^[36]。

3.3 耐热阻燃性能

文献报道在芳香聚合物的苯环上部分引入卤原子,可适度降低大分子链的规整性,有效地提高其阻燃性及和基体树脂的浸润性。为进一步开发研制新一代高性能合成纤维,本研究工作以 2,5-

二氯对苯二甲酰氯(DDC)作为第三单体,将其与间苯二甲酰氯(IPC)、间苯二胺(MPD)在DMAC中进行低温溶液共缩聚反应,合成了含氯取代基的聚间苯二甲酰间苯二胺树脂(PMIAC)^[37]。

日本专利报道对纤维进行表面处理,用阻燃剂浸泡可以提高纤维的阻燃性。如采用六溴环己烷^[38]。

日本的Shuji Ozawa等^[39]发表了由芳族二胺和芳族的二元羧酸的二卤化物的缩聚反应制备芳族聚酰胺的专利。

Jin-Chyueh等^[40]研究了通过选择不同的二胺和二元酰氯可得到不同的重复单元,从而在保持良好的耐热性能的同时,改进材料的阻燃性能。采用TCP部分代替IPC,如果TCP的重量比为10%,可使其5%的热失重温度从260.1℃升高到444.5℃。

日本专利在聚合物中添加交联剂,共混纺丝后对纤维进行热、紫外光或视点辐射处理,产生交联,可以提高纤维的耐热性,同时提高耐溶剂性,这种纤维不再溶于含盐的极性酰胺类溶剂^[41]。

4 结束语

我国90年代已有成功的小试研究,现已具有年产300t的生产能力,计划发展到5000t的生产能力,但产品的性能比国外差,生产方法和国外相近。综上所述,可见现有的芳纶1313纤维制备技术各有优缺点,结合我国湿法纺丝技术较成熟的实际,从提高生产效率和便于溶剂回收出发,应加大对低温溶液聚合-湿法纺丝一步法工艺的研究,一方面降低生产成本,增加产品的竞争力,满足国内的需求;另一方面可以丰富聚合成形理论,避开国外公司的知识产权壁垒,对芳纶1313纤维的国产化和经济社会发展有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 王曙中,王庆瑞,刘兆峰.高科技纤维概论.上海:中国纺织大学出版社,1999,338~348.
- [2] Kelly A, Zweben C. Comprehensive composite materials volume 1, Fiber reinforcement and general theory of composite. Amsterdam: Elsevier, 2000, 205.
- [3] Kakida H, Chatani Y, Tadokoro H. J Polymer Sci, Polym Phys Ed, 1976, 14, 427~435.
- [4] Villarrodil S, Martinez-alonso A, Tascon J M D. J Anal Appl Pyroly, 2001, 58-59, 105~115.
- [5] Dupont. Technical Guide for NOMEX Brand fiber. 2001.
- [6] Dupont. USP, 3360598, 1964-12-28.
- [7] Teijin. USP, 4073837, 1978-02-14.
- [8] Monsanto. USP, 3414645, 1964-6-19.
- [9] Teijin. USP, 4342715, 1982-08-03.
- [10] Hoechst A G. JP, 06-017310, 1994-01-25.
- [11] Hoechst A G. JP, 06-080775, 1994-03-22.
- [12] Industrial Technology Research Institute. USP, 5643518, 1997-07-01.
- [13] 野间隆.纤维工业, 2000, 56(8): 11~21.
- [14] Dupont. USP, 3063966, 1962-11-13.
- [15] Dupont. USP, 3287324, 1966-11-22.
- [16] 帝人株式会社. CN, 1341169, 2002-3-20.
- [17] Dupont. USP, 5340519, 1994-08-23.
- [18] Dupont. USP, 3079219, 1960-12-6.
- [19] Monsanto. USP, 3642706, 1972-02-15.
- [20] Teijin. USP, 4842796, 1989-07-27.

- [21] 帝人株式会社·CN, 1363001, 2002—08—07.
- [22] 纳幕尔杜邦公司·CN, 1219986, 1999—6—16.
- [23] Industrial Technology Research Institute(hsinchu,TW)·USP, 5679758, 1997—10—21.
- [24] Teijin·USP, 4751760, 1988—6—21.
- [25] Teijin·USP, 4529763, 1985—07—16.
- [26] Liu W X, Wu Z Q, Reneker D H·Polym Prep Divi Polym Chem, 2000, 41(2): 1193~1194.
- [27] Teijin·USP, 08—269819, 1996—10—15.
- [28] Teijin·Easily Dyeable Aromatic Polyamide·JP, 03—160023, 1991—07—10.
- [29] Nadagawa·USP, 4278779, 1981—7—14.
- [30] Teijin·JP, 2002-220739, 2002—08—09.
- [31] Teijin·JP, 05—311584, 1993—11—22.
- [32] Teijin·JP, 05-331781, 1993—12—14.
- [33] Teijin·JP, 05-321162, 1993—12—7.
- [34] Teijin·JP, 07-289811, 1995—11—08.
- [35] Teijin·JP, 61-051031, 1986—3—13.
- [36] Teijin·JP, 02-173046, 1990—04—07.
- [37] 蔡明中, 黎苇·石油化工, 2002, (6): 440~443.
- [38] Teijin·JP, 08—325934, 1996—12—10.
- [39] Teijin·EP, 1143048, 2001—10—10.
- [40] Industrial Technology Research Institute(hsinchu,TW)·USP, 5621067, 1997—4—15.
- [41] Teijin·JP, 56—312, 1981—06—01.

Progress in Preparation of meta-Aramid Fiber

CHEN Lei, HU Zu-ming, LIU Zhao-feng

(State Key Laboratory for Modification of Chemical Fibers and Polymer Materials,
Donghua University, Shanghai, 200051, China)

Abstract: Progress in preparation as well as modification of meta-aramid fibers is reviewed based on 401 references. The advantage and disadvantage of dry spinning, wet spinning and dry-jet wet spinning of meta-aramid fibers is discussed. The appropriate process of preparing meta-aramid fiber in our country is described.

Key words: Meta-Aramid; Fiber; Preparation; Progress