

合成纤维及应用丛书

聚酰胺纤维

JUXIANAN XIANWEI

朱建民 主编



化学工业出版社

014037880

TQ342
21

合成纤维及应用丛书

聚酰胺纤维

JUXIANAN XIANWEI

朱建民 主编



化学工业出版社

·北京·

TQ342
21



北航

C1726016

016037880

本书介绍了聚酰胺纤维及其主要原料的生产工艺及应用的相关知识,即聚酰胺纤维原料的合成、聚酰胺纤维的生产、聚酰胺纤维的结构与性能、聚酰胺纤维的改性、聚酰胺纤维的应用、聚酰胺纤维的安全生产与回收利用。

本书可供聚酰胺领域的生产、科研、应用人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

聚酰胺纤维/朱建民主编. —北京: 化学工业出版社, 2014. 1

(合成纤维及应用丛书)

ISBN 978-7-122-18608-9

I. ①聚… II. ①朱… III. ①聚酰胺纤维 IV. ①TQ342

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 240376 号

责任编辑: 赵卫娟 仇志刚

文字编辑: 徐雪华

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 孙远博

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 25 字数 484 千字 2014 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究

《合成纤维及应用丛书》编委会

高级顾问：李勇武 蒋士成 季国标 俞建勇

编委会主任：杨元一

编委会副主任：叶永茂 何盛宝 谢在库 周伟斌 端小平

编委会成员（按照姓氏笔画排序）：

王 锐	王凤德	王玉庆	王玉萍	王依民
叶永茂	朱建民	任国强	庄 毅	孙玉山
李 鑫	杨元一	肖长发	肖维箴	何盛宝
宋西全	陈大俊	陈彦模	周伟斌	房小娟
赵 强	赵 寰	赵启超	赵国樑	胡徐腾
宫调生	晋 工	原 玲	顾松园	徐 坚
徐樑华	富志侠	谢在库	端小平	魏家瑞

《聚酰胺纤维》编写人员名单

- | | | | |
|-------|-----------------|-----|---------------------------------|
| 第 1 章 | 绪论 | 何建辉 | 中国石化巴陵石化公司技术中心主任 高级工程师 |
| | | 宋新 | 中国石化巴陵石化公司技术中心《合成纤维工业》编辑部 高级工程师 |
| 第 2 章 | 聚酰胺纤维原料的合成 | 熊远凡 | 中国石化巴陵石化公司技术中心副主任 高级工程师 |
| | | 冯美平 | 中国石化聚酰胺技术开发中心 高级工程师 |
| 第 3 章 | 聚酰胺纤维的生产 | 戴立平 | 中国石化巴陵石化公司科技信息部部长 高级工程师 |
| | | 樊凯非 | 中国石化聚酰胺技术开发中心 高级工程师 |
| 第 4 章 | 聚酰胺纤维的结构与性能 | 宋超 | 中国石化聚酰胺技术开发中心 工程师 |
| 第 5 章 | 聚酰胺纤维的改性 | 周卫东 | 中石化巴陵石化公司技术中心《合成纤维工业》编辑部 工程师 |
| 第 6 章 | 聚酰胺纤维的应用 | 李湘平 | 中国石化聚酰胺技术开发中心 工程师 |
| 第 7 章 | 聚酰胺纤维的安全生产与回收利用 | 吴滚滚 | 中国石化巴陵石化公司技术中心《合成纤维工业》编辑部 高级工程师 |

序

合成纤维作为三大合成材料之一，不仅在纺织工业中有广泛应用，在航空、航天、建材、水利、交通、轻工、体育、汽车、医疗、卫生、环保等领域也有很大的需求。2013年国内合成纤维产量已突破3700万吨，其中聚酯纤维占总产量的80%以上。传统合成纤维以聚酯纤维（涤纶）、聚酰胺纤维（锦纶）、聚丙烯腈纤维（腈纶）、聚氨酯纤维（氨纶）、聚丙烯纤维（丙纶）、聚乙烯醇纤维（维纶）等几大品种为主，国内技术水平总体上与国外相当。高性能纤维以碳纤维、芳纶纤维、超高分子量聚乙烯纤维、聚苯硫醚纤维、聚酰亚胺纤维、碳化硅纤维等为主，其产量虽然少，但对大飞机、航母、军工、风电、汽车等下游关联产业发展影响巨大，尤其对于国防工业建设，高性能纤维已经成为不可或缺的关键材料之一。

近年来，我国合成纤维在产品质量、技术创新、结构优化和科研等方面取得了长足的进步，但在涵盖了高性能纤维、生物质纤维及新一代差别化、功能化等新型纤维在内的高技术纤维材料的产业化、工程化、市场化方面与发达国家相比仍存在较大的差距。特别是面对国内外严峻的竞争形势，我国合成纤维行业正处于转型升级、创新发展、由大做强的关键时期，亟待加快发展。随着国内外生产和应用技术的不断发展，合成纤维生产和应用行业的研发人员、管理人员、技术人员都希望提高自己的专业技术水平，掌握先进技术的发展动向和趋势，对高质量的合成纤维及应用方面的丛书有迫切需求。

化学工业出版社急行业之所需，组织编写《合成纤维及应用丛书》（共8个分册），这将对整合产业链之间的资源与信息，沟通纤维产业上下游科研、生产、使用起到积极作用；并为从事纤维生产与研发的中高级技术人员、管理人员、下游应用领域和潜在应用领域的技术人员及政府部门产业政策的制定者提供技术参考。

本套丛书紧密结合国内外高新技术发展和“十二五”纤维产业转型升级的技术要求。除了介绍当前主流的技术、设备、工艺外，重点介绍高效新型生产工艺技术，节能、节水、环保、清洁生产技术等国家重点推广的工艺技术以及产业化中遇到的技术、设备、工艺问题及解决方法。在内容上主要围绕合成纤维原料、聚合物、纤维制造、纤维应用来展开。整套丛书反映了近年来国内合成纤维生产及应用

方面的研发进展，包括“973”、“863”、“自然科学基金项目”等国家级课题和各大公司、科研机构攻关项目的相关研究成果。丛书的出版将为全方位提高从业人员的
技术水准和提升行业竞争力做出贡献。

本套丛书聘请国内 10 多家知名科研院所、高校和生产企业的骨干技术专家、
教授组成了强大的编写队伍。各分册的稿件均经过丛书编委会和编著者的认真把
关、反复修改和审查，有力地保证了本丛书内容的先进性、实用性。相信本丛书的
出版一定会赢得行业读者的喜爱，并对行业的结构调整、产业升级和可持续发展起
到重要的指导作用。

李武

2014 年 2 月

前 言

聚酰胺纤维 (PA) 在我国统称为锦纶, 国外多称为尼龙、耐纶、卡普纶等。自 1938 年美国杜邦公司实现聚酰胺 66 (尼龙 66、PA66) 工业化生产以来, 聚酰胺工业得到了飞速发展, 新品种不断涌现, 如 PA6、PA11、PA12、PA46、PA610、PA612、MXD6、PA6T、PA9T、PA1212、PA410、PPTA 等, 其中最主要品种仍是 PA6 (聚酰胺 6) 和 PA66。

聚酰胺纤维作为合成纤维最早工业化的品种, 在 1972 年以前, 其产量一直居合成纤维之首, 但因其原料成本一直高于与之竞争的涤纶、丙纶等纤维, 制约了其发展速度, 聚酰胺纤维产量逐渐被涤纶超越, 退居第二位。2011 年全球聚酰胺纤维产量已达 380 万吨, 广泛应用于工业、纺织品服装、地毯、特殊防护等领域。预计 2015 年前聚酰胺纤维产量将以 1%~2% 速度增长。

我国早在 20 世纪 50 年代就已开始研究和开发聚酰胺, 现已成为世界最大的聚酰胺纤维生产国和消费国。近年来, 随着中国石化己内酰胺自有专利“氨肟化”技术的诞生, 打破了国外的垄断, 己内酰胺生产成本大大降低, 使我国聚酰胺产业链掀起了发展新高潮, 2012 年原料己内酰胺的产能突破 100 万吨/年, 达到 121 万吨/年, 产量达到 71.4 万吨, 进口量为 70.6 万吨; 自给率首次超过 50%。2012 年我国聚酰胺纤维产量达到 181 万吨, 比 2010 年增长了 35%, 占世界产量的 40% 以上, 位居全球首位。

《聚酰胺纤维》是《合成纤维及应用丛书》之一, 内容包括聚酰胺纤维原料的合成、纤维生产工艺、产品性能、改性技术、加工应用及环境保护和回收处理等。在编写过程中, 编者力求全面、准确反映国内外聚酰胺纤维的最新研究成果和技术发展水平。本书可作为聚酰胺领域的生产、科研、营销等人员的参考书, 也可用作聚酰胺教学的辅助教材。

本书由朱建民主编, 各章撰稿人为: 第 1 章何建辉、宋新, 第 2 章熊远凡、冯美平, 第 3 章戴立平、樊凯非, 第 4 章宋超, 第 5 章周卫东, 第 6 章李湘平, 第 7 章吴滚滚。

本书邀请了国内聚酰胺行业知名的专家、教授审稿, 分别是: 中国石化巴陵石化技术中心施祖培教授级高工、中国石化石油化工科学研究院孙斌教授级高工、平

煤神马集团国际贸易有限公司吕健夫副总经理、郑州大学赵清香教授、新会美达锦纶股份有限公司何卓胜副总经理、东华大学王华平教授和胡祖明研究员、北京服装学院赵国樑教授、华南理工大学赵耀明教授，在此对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢。在本书编写过程中，承蒙编者单位中国石化股份公司聚酰胺技术开发中心和中国石化巴陵石化公司技术中心的大力支持、关心和帮助，在此深表谢意！

由于编著者水平有限，书中疏漏难免，敬请读者批评指正。

编著者于岳阳

2013年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 聚酰胺纤维的发展简史	1
1.2 聚酰胺纤维的命名、分类及品种	2
1.2.1 聚酰胺纤维的命名	2
1.2.2 聚酰胺纤维的分类	3
1.2.3 聚酰胺纤维的品种	3
1.3 聚酰胺纤维的性能及应用	4
1.3.1 聚酰胺纤维的性能	4
1.3.2 聚酰胺纤维的应用	5
1.4 聚酰胺纤维的技术现状	5
1.4.1 聚酰胺纤维原料	6
1.4.2 聚合技术	8
1.4.3 纺丝技术	9
1.5 聚酰胺纤维的生产现状	10
1.5.1 世界聚酰胺纤维的生产现状	10
1.5.2 我国聚酰胺纤维的生产现状	13
1.6 聚酰胺纤维发展趋势	16
1.6.1 生产技术发展趋势	16
1.6.2 世界聚酰胺纤维发展趋势	18
1.6.3 我国聚酰胺纤维发展趋势	19
1.6.4 我国聚酰胺纤维发展建议	20
1.7 结语	20
参考文献	21
第 2 章 聚酰胺纤维原料的合成	23
2.1 聚酰胺 6	23
2.1.1 己内酰胺	23
2.1.2 聚酰胺 6 聚合过程与工艺	36
2.2 聚酰胺 66	43
2.2.1 单体生产工艺	43
2.2.2 聚酰胺 66 的聚合过程与工艺	52

2.3	其他聚酰胺	57
2.3.1	聚酰胺 1010	57
2.3.2	聚酰胺 11	64
2.3.3	聚酰胺 12	66
2.3.4	聚酰胺 46	71
2.3.5	聚酰胺 610、聚酰胺 612、聚酰胺 1212	73
2.3.6	其他长碳链聚酰胺	78
	参考文献	80
第3章	聚酰胺纤维的生产	83
3.1	聚酰胺纤维分类及生产方法	83
3.2	聚酰胺纤维的生产原理	84
3.2.1	纺丝熔体的制备	84
3.2.2	熔体的纺丝成型	87
3.2.3	纤维的后加工	93
3.3	聚酰胺纺丝生产的主要设备	101
3.3.1	螺杆挤压机	102
3.3.2	纺丝箱体	106
3.3.3	丝条冷却装置	110
3.3.4	卷绕装置	112
3.3.5	拉伸、加捻设备	114
3.3.6	高速纺丝牵伸定型辊	118
3.3.7	变形设备	119
3.3.8	其他配套及辅助系统	120
3.3.9	纺丝设备的发展趋势	122
3.4	聚酰胺纤维生产的工艺条件	123
3.4.1	纺丝工艺条件	123
3.4.2	拉伸工艺条件	131
3.4.3	热定型工艺条件	133
3.4.4	变形的工艺条件	133
3.5	典型的聚酰胺纤维生产工艺	140
3.5.1	POY 的生产	140
3.5.2	DT 丝的生产	143
3.5.3	DTY 的生产	144
3.5.4	FDY 的生产	147
3.5.5	HOY 的生产	150

3.5.6	BCF 的生产	153
3.5.7	聚酰胺帘子线用长丝生产	156
3.5.8	聚酰胺鬃丝的生产	160
3.5.9	聚酰胺短纤维的生产	163
3.6	其他聚酰胺纤维的生产	166
	参考文献	167
第 4 章	聚酰胺纤维的结构与性能	170
4.1	聚酰胺纤维的结构	170
4.1.1	聚酰胺的分子结构及其特征	170
4.1.2	聚酰胺纤维的聚集态结构	176
4.1.3	聚酰胺纤维的外部形态特征	191
4.2	聚酰胺纤维的性能特点	196
4.2.1	耐磨性	196
4.2.2	力学性能	197
4.2.3	弹性回复率	197
4.2.4	耐疲劳性	198
4.2.5	吸湿性	199
4.2.6	染色性	200
4.2.7	阻燃性	201
4.2.8	耐热性	202
4.2.9	耐化学品性	203
4.2.10	光学性	204
4.3	聚酰胺纤维性能的影响因素	205
4.3.1	聚酰胺结构对聚酰胺纤维性能的影响	205
4.3.2	表面形态对聚酰胺纤维性能的影响	210
4.3.3	温湿度对聚酰胺纤维性能的影响	211
4.3.4	纺丝工艺对聚酰胺纤维性能的影响	213
4.3.5	拉伸对聚酰胺纤维性能的影响	214
4.3.6	热定型对聚酰胺纤维性能的影响	215
4.4	PA6 和 PA66 纤维的产品性能	217
4.4.1	POY	217
4.4.2	FDY	218
4.4.3	HOY	219
4.4.4	DTY	219
4.4.5	工业丝	219

4.4.6	短纤维	222
4.4.7	BCF 纤维	223
4.5	其他聚酰胺纤维	224
4.5.1	PA46	224
4.5.2	长碳链聚酰胺纤维	226
	参考文献	229
第 5 章	聚酰胺纤维的改性	232
5.1	聚酰胺纤维的物理改性	232
5.1.1	共混纺丝	233
5.1.2	复合纺丝	235
5.1.3	异形纺丝	239
5.1.4	静电纺丝	245
5.2	聚酰胺纤维的化学改性	249
5.2.1	共聚改性	249
5.2.2	交联改性	252
5.2.3	络合改性	253
5.2.4	表面改性	256
5.3	改性聚酰胺纤维品种	259
5.3.1	易染色纤维	259
5.3.2	亲水性纤维	261
5.3.3	抗静电纤维	264
5.3.4	阻燃纤维	265
5.3.5	耐热耐光纤维	271
5.3.6	抗菌防臭纤维	275
5.3.7	负离子纤维	280
5.3.8	远红外纤维	283
5.3.9	高强高模纤维	286
5.3.10	其他新品种	288
5.4	聚酰胺纤维改性的发展趋势	290
5.4.1	改性技术的多元化	290
5.4.2	服用性能的提升	291
5.4.3	产业用高性能纤维的开发	292
	参考文献	292
第 6 章	聚酰胺纤维的应用	296
6.1	概述	296

6.1.1	聚酰胺纤维纺织品的分类	296
6.1.2	聚酰胺纤维纺织品的特点	297
6.2	服装用纺织品	298
6.2.1	服装面料	298
6.2.2	服装辅料	314
6.3	装饰用纺织品	317
6.3.1	地毯	317
6.3.2	布艺窗帘	319
6.3.3	布艺沙发	320
6.3.4	箱包	321
6.3.5	其他	321
6.4	产业用纺织品	322
6.4.1	交通运输	323
6.4.2	绳缆	327
6.4.3	医疗卫生用纤维制品	328
6.4.4	渔网	329
6.4.5	篷帆布	330
6.4.6	过滤布	330
6.4.7	造纸毛毯	332
6.4.8	建筑、土工材料	333
6.4.9	其他	334
6.5	航空航天	335
6.5.1	降落伞	336
6.5.2	个体防护装备	338
6.5.3	其他	341
	参考文献	342
第7章	聚酰胺纤维的安全生产与回收利用	346
7.1	聚酰胺纤维的原料特性及安全使用	346
7.1.1	己内酰胺	346
7.1.2	己二酸	347
7.1.3	己二胺	347
7.1.4	聚酰胺 66 盐	348
7.2	聚酰胺纤维生产中的安全与防护	348
7.2.1	危险危害因素	348
7.2.2	防范措施	351

第 1 章 绪论

聚酰胺 (polyamide, 简称 PA) 是指分子主链上含有酰氨基 ($-\text{OC}-\text{NH}-$) 的一类聚合物, 俗称尼龙 (nylon), 在中国用作纤维时亦称为锦纶。聚酰胺纤维是世界上最早工业化的合成纤维品种, 具有优良的强度、耐磨性、弹性回复率、吸湿性, 在服装、家纺和产业用领域举足轻重, 应用广泛, 是仅次于聚酯纤维的第二大合成纤维。

1.1 聚酰胺纤维的发展简史

美国杜邦公司卡罗瑟斯研究室 1928 年进行聚合物研究, 合成了聚酯类、聚酰胺类、聚醇缩醛类、聚醚类等链状高分子化合物, 于 1937 年由己二胺和己二酸经缩聚反应制备聚酰胺 66, 开发出熔体纺丝技术, 得到聚酰胺 66 纤维, 杜邦公司在 1938 年 9 月取得该专利权并以 “nylon” 为商品名。杜邦公司在 1939 年建立第一个聚酰胺 66 纤维工厂, 生产能力为 4kt/a, 继而进入工业化生产阶段, 1944 年生产能力达 25kt/a。

在聚酰胺 66 开始商业化的同时, 德国法本公司 (IG Farben/Basf) 施拉克 (P. Schlack) 于 1938 年发现在水存在下, 己内酰胺可开环聚合生成高分子聚合物聚己内酰胺, 法本公司于同年申请了由己内酰胺合成聚酰胺的专利, 于 1939 年开发生产出聚酰胺 6 纤维, 取其商品名称为 perlon, 并于 1941 年实现工业化。之后, 英国、法国、意大利、西德、日本各大企业也相继开发成功聚酰胺 6 及聚酰胺 66 纤维产品并建成投产, 从而进一步扩大了聚酰胺纤维的产能。如日本东洋人造丝公司于 1951 年建成聚酰胺 6 纤维工厂。此后, 各国的纤维材料研究者进行多种聚酰胺纤维的研究, 其他类型的聚酰胺纤维也相继问世。如法国 Organnico 公司 1955 年开发了聚酰胺 11, 上海赛璐珞厂 1958 年开发了聚酰胺 1010, 杜邦公司 1967 年和 1972 年开发了聚间苯二甲酰间苯二胺和聚对苯二甲酰对苯二胺, DSM 公司 1985 年开发了聚酰胺 46, 逐渐增大了聚酰胺纤维的产业群。

自聚酰胺纤维工业化以来, 世界合成纤维工业蓬勃发展, 聚酰胺纤维产量一直位居合成纤维之首。但随着聚酯纤维 (涤纶) 的不断发展, 1972 年聚酰胺纤维产量被聚酯纤维超越。20 世纪 90 年代以来, 聚酰胺纤维产量增速缓慢, 甚至于 2005~2010 年出现负增长, 但于 2010 年重拾升势。2011 年, 世界聚酰胺纤维产量约 3877kt, 排名第二, 约占世界合成纤维总量的 8.2%, 预计 2015 年前聚酰胺纤维产量增速为 1%~2%。

1.2 聚酰胺纤维的命名、分类及品种

1.2.1 聚酰胺纤维的命名

聚酰胺纤维是指分子链上具有酰氨基的一类合成纤维。聚酰胺纤维种类很多，主要是脂肪族聚酰胺纤维。此外还有半芳香族的聚酰胺纤维、全芳香族的聚酰胺纤维和共聚聚酰胺纤维。聚酰胺纤维命名方法有习惯命名法和系统命名法，此外还有各厂家自有的商业名称。目前，聚酰胺纤维还没有统一的命名原则。

1.2.1.1 按系统命名法命名

(1) 脂肪族聚酰胺的命名

① 由 ω -氨基脂肪酸缩聚及其内酰胺单体开环聚合制得的聚酰胺，一般是根据单元结构所含碳原子数来命名。聚酰胺 n (PAN)，亦称尼龙 n ，其中 n 为重复单元结构的碳原子数。如：聚酰胺6是单元结构含6个碳原子 $[-NH-(CH_2)_5CO-]$ 的高聚物。

② 由二元胺和二元酸两种单体缩聚而制得的聚酰胺，一般是根据二元胺和二元酸的碳原子数来命名，称为聚酰胺 mn (PAmn)，亦称尼龙 mn ，其中 m 为二元胺碳原子数， n 为二元酸碳原子数。如：聚酰胺610是由己二胺 $[NH_2-(CH_2)_6NH_2]$ 和癸二酸 $[HOOC-(CH_2)_8COOH]$ 制得。

(2) 半芳香族聚酰胺的命名 对于半芳香族聚酰胺，如果二元胺或二元酸是芳香族，以它们在ISO1874-1中的缩写代号表示，如果二元胺和二元酸是脂肪族的，则根据重复单元的二元胺和二元酸的碳原子数来命名，二元胺的碳原子数或缩写代号在前，二元酸的碳原子数或缩写代号在后组成聚酰胺的名称。如聚酰胺6T是由己二胺和对苯二甲酸缩聚制得的聚酰胺，PAMXD6是由间苯二甲胺（在ISO1874-1中缩写代号为MXD）和己二酸缩聚而成的聚己二酰间苯二甲胺。

(3) 共聚聚酰胺的命名 共聚聚酰胺的命名是以上述方法命名的聚酰胺名称组合而成的。共聚聚酰胺中的主要成分聚酰胺名称在前，次要成分在后，中间用斜线分开，按比例从大到小排列，括号内为组分比例。例如，以聚酰胺6为主的聚酰胺6和聚酰胺66的共聚体，表示为聚酰胺6/66 (PA6/66)；以聚酰胺66为主的聚酰胺66和聚酰胺6的共聚体，则表示为聚酰胺66/6 (PA66/6)。

1.2.1.2 按习惯命名法命名

原则上所有聚酰胺都可以按习惯命名法进行命名，例如聚酰胺6，可以叫做 ϵ -己内酰胺，聚酰胺66又可叫做聚己二酰己二胺。不过一般习惯还是用上述命名方法命名。目前，对全芳香族聚酰胺一般用习惯命名法。由对苯二胺和对苯二甲酸缩聚的高聚物，称为聚对苯二甲酰对苯二胺。