

合成树脂及应用丛书

● 邓如生 魏运方 陈步宁 编著

聚酰胺树脂 及其应用



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

合成树脂及应用丛书

聚酰胺树脂及其应用

邓如生 魏运方 陈步宁 编著

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

聚酰胺树脂及其应用 / 邓如生, 魏运方, 陈步宁编著. — 北京:
化学工业出版社, 2002.12
(合成树脂及应用丛书)
ISBN 7-5025-4068-7

I. 聚… II. ①邓…②魏…③陈… III. ①聚酰胺-生产②聚酰胺-应用 IV. TQ323.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 071392 号

合成树脂及应用丛书

聚酰胺树脂及其应用

邓如生 魏运方 陈步宁 编著

责任编辑: 龚浏澄 丁尚林

责任校对: 陈 静

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850 毫米 × 1168 毫米 1/32 印张 21 $\frac{3}{4}$ 字数 590 千字

2002 年 12 月第 1 版 2002 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4068-7/TQ·1606

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

编 者 的 话

合成材料的发现、应用及推广，构成了人类的进步和文明。从20世纪50年代迅速发展起来的合成树脂是产量最高、需求量最大、应用面最广的合成材料，已成为继金属、水泥、木材之后的第四种材料支柱，在尖端技术、国防建设、国民经济和人民生活等领域发挥着重要作用。20世纪80年代以来，我国合成树脂和塑料制品的生产量以每年两位数的速度增长，塑料制品的产量已超过2000万t/a，合成树脂消费量也逐年提高，成为仅次于美国的世界第二大合成树脂消费国。但我国合成树脂在产品数量和质量、生产加工技术与装备、科研开发力度，特别是应用技术等方面都落后于发达国家。进入21世纪，科学技术发展势头更快，合成树脂和塑料行业的科研开发人员、技术工人、管理人员和应用领域的科研工作者，都迫切希望提高自己的专业知识水平，掌握更先进的专业技术，以跟上时代的步伐。

为满足广大读者的愿望，我社组织国内有关的专家、学者编写了《合成树脂及应用丛书》。该丛书各分册如下。

聚酰胺树脂及其应用	有机硅树脂及其应用
甲基丙烯酸酯树脂及其应用	不饱和树脂及其应用
ABS树脂及其应用	聚氨酯及其应用
聚乙烯树脂及其应用	环氧树脂及其应用
聚丙烯树脂及其应用	酚醛树脂及其应用
聚苯乙烯系列及其应用	

该丛书全面、系统地阐述了各种合成树脂的制造技术、结构性能、改性技术、成型工艺与设备、模具制造、产品质量检测及应用技术等，对广大用户关注的各种合成树脂的性能与应用在写法上给予了高度重视。在内容取舍上既充分注意了成熟、稳定、可靠、先

进的技术内容，又对有发展前途的前瞻性技术给予了充分的反映。内容上突出科学性、实用性、针对性和通用性是本套书追求的主要特色。

希望本丛书的出版对广大读者有所裨益，并对我国合成树脂工业的发展起到促进作用。

化学工业出版社

前 言

经过 60 多年的发展，全世界聚酰胺总产量接近 600 万吨。已成为五大工程塑料中产量最大、用途最广、品种最多的重要的高分子材料。

主要基础树脂品种由 20 世纪 60 年代的 PA6、PA66，发展到几十个品种，一些高性能树脂如 PA11、PA12、PA66、PA610、PA612、MXD6、PPTA 已实现工业化生产，并得到广泛应用。近年来，长碳链聚酰胺如 PA1212、PA1313 等品种也进入实用化阶段，同时，通过化学、物理改性基础树脂，实现品种系列化、专用化和高性能化。已有上千个品种用于各种用途。可以说聚酰胺已成为汽车、机械、电器、通讯、电子、航空航天、国防、服装、包装等工业不可缺少的结构材料。

随着经济全球化进程，我国汽车、电子电器、通讯、机械工业飞速发展，对聚酰胺的需求越来越大。对其性能、品种的要求也越来越高。我国聚酰胺工业起步较晚，发展缓慢。基础树脂产量不到 20 万吨，大部分用于民用纤维，工程用树脂品种少，产量小，远不适应相关工业发展的需求。国内从事改性研究的机构很多，直到 20 世纪 90 年代初，才形成小规模的生产，经过十多年的发展，改性工程塑料逐步形成新的产业，全国约有近百家改性工程塑料企业，年产改性聚酰胺约 2 万吨左右，但大多数企业规模小、技术落后、产品质量较低，与国外大公司比差距甚远，我国加入 WTO 后，国外公司纷纷进入国内市场。应对国外的激烈竞争，国内企业应高度重视产品的开发，不断推出新的品种，努力提高产品质量，以满足不同行业的需要。

为促进行业的发展，我们收集、整理了大量的有关聚酰胺生产、性能、改性加工与应用方面的资料，结合自身的一些研究与认

识，编写了本书，将有关聚酰胺发展的最新成果，特别是改性理论、改性聚酰胺及加工与应用介绍给广大读者，期盼能给企业产品开发与市场开拓提供一定的帮助。

本书第一、三、八章由魏运方编写、第四、六、七章由邓如生编写，第二、五章由陈步宁编写，黎复华、刘年权参加了部分编写工作。在编写过程中，岳阳石化总厂研究院肖勤莎高级工程师等给予了大力帮助，在此，表示衷心的感谢。本书中引用了大量的参考文献，对原作者深表谢意。由于我们水平有限，书中难免出现一些错误，敬请读者批评指正。

编著者

2002年7月于岳阳

内 容 提 要

本书简要地介绍了聚酰胺树脂的生产方法与性能特点，并重点阐述了聚酰胺改性原理与方法、产品牌号与性能、加工技术与应用情况。

本书内容丰富，文献来源广，技术先进，具有一定的深度与针对性，理论与实践结合紧密，实用性强，对从事聚酰胺树脂改性与加工的科研、生产技术人员具有较强的指导作用，也可作为大专院校高分子专业师生的参考书。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 工程塑料的分类与特性	1
一、基本概念	1
二、工程塑料的分类及特性	2
第二节 聚酰胺的命名及分类	4
一、命名	4
二、聚酰胺的分类	6
第三节 聚酰胺发展史	6
一、聚酰胺品种开发	7
二、聚酰胺主要中间体生产原料的变迁	11
三、加工技术与聚酰胺树脂的发展	13
第四节 世界聚酰胺工程塑料的现状	15
一、聚酰胺工程塑料发展概况	15
二、聚酰胺工程塑料工业现状及消费量	16
三、聚酰胺工程塑料树脂的主要用途和消费结构	18
四、聚酰胺工程塑料树脂改性状况及消费	20
五、聚酰亚胺及改性品种的工业状况和消费	23
第五节 我国聚酰胺的发展概况及现状	24
一、我国聚酰胺的发展概况	24
二、我国聚酰胺工程塑料的现状及消费	27
第六节 聚酰胺的发展趋势	29
一、聚酰胺工程塑料的需求	29
二、聚酰胺树脂生产工艺	29
三、聚酰胺工程塑料的原料循环利用技术	30
四、聚酰胺塑料改性的方法和途径	31
五、聚酰胺的合金化	33
六、耐热性聚酰胺	33

七、聚酰胺纳米复合材料	34
八、聚酰胺工程塑料的加工成型技术的发展	35
九、绿色环保技术的应用	36
参考文献	36
第二章 聚酰胺树脂的合成	40
第一节 脂肪族聚酰胺	41
一、聚己内酰胺	41
二、聚己二酰己二胺	46
三、聚癸二酰己二胺	51
四、聚十二烷酰己二胺	53
五、聚十二烷酰十二胺	54
六、聚癸二酰癸二胺	54
七、聚十一内酰胺	56
八、聚十二内酰胺	58
九、聚己二酰丁二胺	60
第二节 芳香族聚酰胺	63
一、聚己二酰间苯二胺	63
二、聚对苯二甲酰己二胺	64
三、聚对苯二甲酰壬二胺	64
四、聚对苯二甲酰三甲基己二胺	64
五、聚对苯二甲酰对苯二胺	64
六、聚间苯二甲酰间苯二胺	65
第三节 聚酰亚胺	66
一、均苯型聚酰亚胺	67
二、单醚型聚酰亚胺	67
三、双醚酞型聚酰亚胺	68
四、聚醚酰亚胺	69
五、聚双马来酰亚胺	70
六、降冰片烯二酸改性聚酰亚胺	71
七、聚酰胺酰亚胺	71
参考文献	77
第三章 聚酰胺的结构与性能	79
第一节 聚酰胺的结构与性能的关系	79

一、聚酰胺的结构特征	79
二、聚酰胺分子链结构对结晶性的影响	81
三、聚酰胺分子链结构对密度的影响	84
四、聚酰胺分子链结构对吸水性的影响	85
五、聚酰胺分子链结构对耐热性的影响	85
六、聚酰胺分子链结构对力学性能的影响	91
七、聚酰胺分子链结构对电性能的影响	94
八、聚酰亚胺的结构特征与性能的关系	96
第二节 聚酰胺的共性	105
一、聚酰胺的一般共性	105
二、聚酰胺的耐化学药品性	106
三、聚酰胺热塑性弹性体的共性和耐化学药品性能	114
四、聚酰亚胺及改性聚酰亚胺的特征和耐药品性能	116
第三节 脂肪族聚酰胺的性能	124
一、聚酰胺 6 和聚酰胺 66 的性能	124
二、聚酰胺 46 的性能	131
三、聚酰胺 11、12、610、612、1212 的性能	133
四、聚酰胺 1010 的性能	135
第四节 半芳香族聚酰胺和全芳香族聚酰胺的性能	138
一、聚酰胺 MXD-6	139
二、聚酰胺 6T 系列的性能	140
三、聚酰胺 9T 的性能	145
四、全芳香族聚酰胺（芳酰胺）的性能	147
第五节 聚酰胺的改性品种性能	151
一、纤维及无机物增强聚酰胺的性能	152
二、纳米聚酰胺的性能	155
三、阻燃聚酰胺的性能	158
四、聚酰胺合金的性能	160
第六节 其他聚酰胺的性能	170
一、透明聚酰胺（非结晶性聚酰胺）	170
二、单体铸型聚酰胺的性能	171
三、导电聚酰胺的性能	173
四、聚酰胺 1313 的性能	175

五、聚酰胺 1012 的性能	176
六、抗菌聚酰胺的性能	176
七、共聚聚酰胺的性能	176
八、非线型聚酰胺“Technylstar”的性能	180
九、聚苯二酰胺	183
参考文献	185
第四章 共混改性聚酰胺	189
第一节 概述	189
一、基本概念	189
二、聚酰胺改性的目的与意义	190
三、改性聚酰胺的技术发展与趋势	191
第二节 增强聚酰胺	196
一、增强材料种类与特征	196
二、玻璃纤维的增强作用机理	198
三、偶联剂种类与应用	198
四、增强聚酰胺的生产过程与控制因素	201
五、增强聚酰胺品种与性能	207
六、增强聚酰胺的发展趋势	217
第三节 填充聚酰胺	218
一、概述	218
二、填料的种类及特性	218
三、填料的物理特性与改性功能的关系	219
四、填充聚酰胺的主要控制因素	219
五、填充聚酰胺的性能	222
第四节 阻燃聚酰胺	224
一、概述	224
二、阻燃剂种类与特性	225
三、阻燃剂的应用与配方设计	231
四、阻燃聚酰胺制造过程的影响因素与控制	233
五、阻燃聚酰胺的品种与性能	237
第五节 增韧聚酰胺	240
一、概述	240
二、增韧理论及其发展	241

三、增韧剂种类与特性	248
四、增韧技术及应用	250
五、增韧聚酰胺制造过程的主要控制因素	261
六、增韧聚酰胺的性能与特性	271
七、几种典型的增韧体系及其制备技术	272
八、增韧聚酰胺的技术发展趋势与方向	276
第六节 聚酰胺合金	276
一、概述	277
二、聚合物共合金形态结构	280
三、聚合物合金的相容性	285
四、聚酰胺共混增容技术	290
五、相容剂与增容机理	291
六、相容剂的制备技术	297
七、聚酰胺合金的制备	303
八、聚酰胺合金的品种与性能	316
第七节 纳米聚酰胺	337
一、纳米材料的一般特征与功能	338
二、用于工程塑料的纳米材料种类与特性	339
三、聚合物纳米复合材料的制备技术	340
四、纳米聚酰胺的制备、改性与应用	342
第八节 抗静电聚酰胺	347
一、概述	347
二、抗静电剂及其作用机理	348
三、抗静电聚酰胺制备的技术要点	350
参考文献	352
第五章 聚酰胺工程塑料产品牌号与性能	357
第一节 概述	357
第二节 聚酰胺工程塑料产品牌号与性能	359
一、聚酰胺 6 牌号与性能	364
二、聚酰胺 66 牌号与性能	364
三、长碳链尼龙牌号与性能	466
四、其他尼龙牌号	466
参考文献	498

第六章 改性与加工设备	499
第一节 概述	499
一、设备在工程塑料发展中的作用	499
二、我国成型加工与改性设备制造技术的发展	499
第二节 干燥混合设备	501
一、干燥设备	501
二、混合设备	501
第三节 注射成型机	502
一、柱塞式注射成型机的结构与特性	503
二、螺杆式注射成型机的结构与特性	503
第四节 单螺杆挤出机	505
一、单螺杆几何参数	505
二、单螺杆挤出机工作段的划分	506
三、单螺杆结构与类型	507
第五节 双螺杆挤出机	510
一、双螺杆挤出机的类型与结构	511
二、双螺杆挤出机的熔融混合原理	514
三、双螺杆元件特性与功能	519
四、双螺杆挤出机组合与应用	523
五、双螺杆挤出机操作过程中的异常现象与对策	533
参考文献	540
第七章 聚酰胺的加工成型技术	541
第一节 概述	541
一、聚酰胺的加工方法与主要产品	541
二、聚酰胺加工技术的最新进展	542
三、聚酰胺加工技术发展的趋势	545
第二节 聚酰胺的加工特性	546
一、聚酰胺的吸湿性对产品质量的影响	546
二、聚酰胺的熔融流动特性	547
三、聚酰胺的熔点与加工温度	549
四、聚酰胺的热稳定性对加工及制品性能的影响	549
五、聚酰胺的成型收缩性	550
第三节 注射成型技术	552

一、注射成型过程与工艺设计原则	552
二、聚酰胺系列品种的注射成型工艺	555
三、聚酰胺注射成型的异常现象与对策	560
第四节 聚酰胺的挤出成型工艺	564
一、聚酰胺的挤出成型过程与控制因素	565
二、聚酰胺管材、棒材的挤出成型	567
三、聚酰胺单丝挤出成型	574
四、聚酰胺薄膜的挤出成型	576
参考文献	584
第八章 聚酰胺的应用	585
第一节 聚酰胺的应用概况及意义	585
一、聚酰胺的应用概况	585
二、聚酰胺工程塑料应用的意义	587
第二节 聚酰胺在汽车上的应用	592
一、聚酰胺在汽车上的应用概况	593
二、聚酰胺在汽车发动机周边部件上的应用	596
三、汽车燃油箱	608
四、聚酰胺在汽车其他部件上的应用	613
第三节 聚酰胺在兵器及航空航天工业上的应用	617
一、聚酰胺在轻武器及单兵装具和携行具上的应用	618
二、聚酰胺在弹药部件上的应用	620
三、聚酰胺在坦克装甲车上的应用	621
四、芳酰胺纤维树脂复合材料在航空航天工业上的应用	626
五、聚酰胺在引信上的应用	633
第四节 聚酰胺在包装领域的应用	635
一、包装用塑料选材原则	636
二、聚酰胺薄膜在包装领域的应用	638
三、聚酰胺 MXD6 及其 PET/PAMXD6 复合容器的应用	641
四、阻隔性共挤出聚酰胺复合薄膜及应用	643
五、聚酰胺类多层复合中空容器及应用	644
六、聚酰胺复合薄膜在粮食仓储包装上的应用	645
第五节 聚酰胺在电气、电子、家电和通讯领域的应用	646
一、聚酰胺在电气电子领域中的应用	647

二、聚酰胺在通讯和家用电器中的应用	654
第六节 聚酰胺在机械工业上的应用	655
一、聚酰胺在重型机器上的应用	655
二、MC 聚酰胺在冶金轧钢机上的应用	659
三、MC 聚酰胺在橡胶加工机械中的应用	660
四、聚酰胺在拖拉机上的应用	660
五、聚酰胺在其他机械上的应用	662
第七节 聚酰胺在其他领域中的应用	664
一、聚酰胺在铁路上的应用	664
二、聚酰胺在医疗器具中的应用	665
三、聚酰胺在体育运动器械上的应用	667
四、对位芳纶在防护用品上的应用	669
五、聚酰胺热熔胶的应用	671
六、聚酰胺粉末涂料	671
七、聚酰胺单丝及应用	672
八、聚酰胺在其他方面的应用	673
参考文献	674

第一章 绪 论

聚酰胺 (Polyamide, 简称 PA) 俗称为尼龙 (Nylon), 自 20 世纪 30 年代由美国杜邦公司中央研究所的 W.H Carothers 开发并实现工业化以来, 已有 60 多年的历史。生产初期主要用作纺丝的原料, 20 世纪 50 年代初才作为工程塑料使用。由于它具有优良的力学性能和较好的电性能, 又具有耐磨、耐油、耐溶剂、自润性、自熄性、耐腐蚀性以及良好的加工性能等优点, 应用广泛。聚酰胺作为工程塑料, 其最大的缺点是吸水性较大, 从而导致制品尺寸和性能的变化。不过, 在聚酰胺大分子主链末端含有氨基和羧基, 在一定的条件下, 具有一定的反应活性, 因此, 可通过嵌段、接枝、共混、增强和填充等方法进行化学和物理改性, 可克服由于吸水性较大带来制品尺寸和性能变化的缺点, 而且, 大幅度地提高其性能, 能得到意想不到的效果, 适合生产各种用途的专用料, 因此, 聚酰胺在工程塑料中的产量一直排行首位, 已成为汽车、电子电器、机械、电气、航天航空、兵器等工业不可缺少的结构材料。

第一节 工程塑料的分类与特性^[1~9]

一、基本概念

聚酰胺是在大分子链重复结构中含有酰胺基团 ($-\text{CO}-\text{NH}-$) 高聚物的总称。

聚酰亚胺 (Polyimide, 简称 PI) 是在分子链重复结构中含有酰亚胺基 ($-\text{CO}-\text{N}-\text{CO}-$) 的杂环高聚物。

芳酰胺 (Aramid) 是指通过酰胺键连接芳香基的线型高分子, 或者说大分子主链中含有芳香基的聚酰胺。

工程塑料目前还没有明确的统一定义, 日本松岛先生认为: 工程塑料是拉伸强度大于 49 MPa, 弯曲弹性模量在 2 GPa 以上, 耐