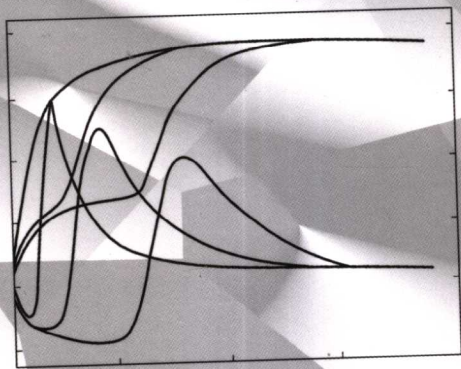


塑料助剂与配方设计技术

第二版

中国工程塑料工业协会塑料助剂专业委员会 组织编写

李杰 郑德 主编



Chemical Industry Press



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

塑料助剂与配方设计技术

第二版

中国工程塑料工业协会塑料助剂专业委员会 组织编写
李杰 郑德 主编



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

塑料助剂与配方设计技术/李杰,郑德主编. —2版.
北京:化学工业出版社,2004.12
ISBN 7-5025-6388-1

I. 塑… II. ①李…②郑… III. 塑料助剂-配方-
设计 IV. TQ320.424

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 124305 号

塑料助剂与配方设计技术

第二版

中国工程塑料工业协会塑料助剂专业委员会 组织编写

李杰 郑德 主编

责任编辑:龚浏澄

责任校对:陈 静

封面设计:潘 峰

*

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

北京彩桥印刷厂印刷

北京彩桥印刷厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 508 千字

2005 年 1 月第 2 版 2005 年 1 月北京第 4 次印刷

ISBN 7-5025-6388-1/TQ·2125

定 价: 40.00 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

第一版前言

知识经济时代的到来，意味着人类更加快速发展的历史时期的开始，随着我国加入 WTO，将面临全球经济一体化的激烈竞争，它不仅是市场和产品的竞争，更是知识、人才和管理的竞争。面对如此巨大的机遇和挑战，如何提高塑料加工企业从业人员的技术水平已成为当前企业面临的迫切任务。

塑料成型加工中，对塑料助剂的了解，对塑料配方设计和配制技术的掌握至关重要。为促进塑料制造、加工和助剂生产企业的整体水平，中国工程塑料工业协会塑料助剂专业委员会与中国塑料加工工业协会异型材及门窗制品专业委员会于 2001 年共同举办了《塑料助剂与配方设计技术》学习班。目的是提高企业技术骨干的技术水平，增加企业参与市场竞争的实力。为此，我们聘请了 20 余位国内知名的学者和专家讲授先进的成型技术，阐述各种塑料助剂的配方设计及其配制技术，并进行了广泛的交流。令人感到欣慰的是，按照预期的愿望，学习班取得了很好的效果。为了让更多的塑料工作者理解塑料助剂，掌握助剂的配制原理，我们将各位专家的讲课内容进行了修改，辑录整理成现在这样一本书。

本书内容丰富、翔实，理论阐述简明易懂，深入浅出；实践经验真实可靠，密切结合生产实际。既有前沿性研究成果，又有大量的生产第一线经验总结。所以，本书既可以作为培训教材，也是专业人员扩展知识、增长才干的参考读物。

鉴于我们的知识与水平，又是初次涉足，本书倘有不足之处，还望读者不吝赐教。

编者

郑德 李杰

2002 年 10 月

第二版前言

进入 21 世纪以来,塑料工业继续以高速度发展,2003 年国内塑料用合成树脂的消费量已超过 3000 万吨,塑料制品的产量达 3500 万吨,使我国的塑料工业成为仅次于美国的第二大国,但无论在技术装备、工艺水平和技术能力上,与工业发达国家相比,还有较大的差距。为了提高塑料成型加工从业人员的技术能力,正确地选用原材料和塑料助剂,合理地进行配方设计,在中国工程塑料工业协会和中国塑料加工工业协会的领导下,塑料助剂专业委员会和塑料异型材及门窗制品专业委员会于 2001 年和 2002 年举办了两届塑料助剂与配方设计技术学习班。本书的第一版即是这两届学习班的教材。2004 年又在上海举办了第三届塑料助剂与配方设计技术学习班,学习的内容涉及聚氯乙烯软制品、聚烯烃和工程塑料的改性 with 配方设计,本书第二版的内容是将这三届学习班的授课内容进行精选和修改后,再加以编辑出版。

本书内容翔实,理论阐述简明易懂,深入浅出,密切结合生产实际。因而既可作为培训教材,也是专业人员扩展知识,增长才干的参考读物。

在编辑过程中倘有遗漏和不足之处,还望读者不吝赐教。

编者

李杰 郑德

2004 年 11 月

作者介绍

- 第1章 漆宗能 中国科学院化学所工程塑料国家重点实验室博士生导师，教授
- 第2章 于建 清华大学高分子研究所所长、博士生导师，教授
- 第3章 王德禧 中国科学院化学所研究员、中国塑料加工工业协会工程塑料专业委员会理事长
- 第4章，第25章 华幼卿 北京化工大学材料科学与工程学院博士生导师，教授
- 第5章 钟世云 上海同济大学材料科学与工程学院教授
- 第6章 王永强 南京市化工研究设计院总工程师，塑料助剂专业委员会秘书长
- 第7章 蒋平平 江南大学化学与材料工程学院教授
- 第8章，第14章 刘芳 北京市助剂研究所高级工程师
- 李杰 北京市加成助剂研究所所长，高级工程师
- 第9章，第19章 郑德 广东炜林纳功能材料有限公司总经理，教授，中国工程塑料工业协会塑料助剂专业委员会副理事长
- 第9章 凌秋灵 广州广洋科技股份有限公司高级工程师
- 第9章 陆志刚 广州广洋科技股份有限公司高级工程师
- 第10章 欧育湘 北京理工大学阻燃材料国家重点实验室前主任，博士生导师，教授
- 第11章 吴立峰 北京化工大学材料科学与工程学院教授，中国染料工业协会塑料着色和色母粒专业委员会秘书长
- 第12章 隋昭德 北京市助剂研究所高级工程师
- 李杰 北京市加成助剂研究所所长，高级工程师

- 第13章** 包永忠 浙江大学高分子工程研究所教授
 翁志学 浙江大学高分子工程研究所博士生导师, 教授
 黄志明 浙江大学高分子工程研究所教授
- 第15章** 陈宇 北京市化工研究院副院长、教授级高级工程师, 塑料助剂专业委员会副理事长
 王朝晖 北京市化工研究院精细化工研究所工程师
- 第16章** 刘英俊 北京工商大学塑料加工与应用研究所教授级高级工程师, 中国塑料加工工业协会塑料改性专业委员会秘书长
- 第17章, 第18章** 李毕忠 中国科学院理化研究所研究员, 北京崇高纳米科技有限公司总经理
 徐绍刚 北京崇高纳米科技有限公司高级工程师
- 第20章** 陈祖欣 深圳市福井精细化工有限公司高级工程师
- 第21章** 王传琦 湖北南星化工总厂高级工程师
 王建军 湖北南星化工总厂高级工程师
 李彪 湖北南星化工总厂高级工程师
- 第22章** 严一丰 深圳市志海实业有限公司高级工程师, 总经理
- 第23章** 韩宝仁 中石化北京化工研究院教授级高级工程师
- 第24章** 王国全 北京化工大学材料科学与工程学院教授
- 第26章** 张尔梅 常熟中联光电新材料公司高级工程师
- 第27章** 赵劲松 广东顾地塑胶股份有限公司教授级高级工程师
 谢世雄 广东顾地塑胶股份有限公司高级工程师
- 第28章** 曹民干 同济大学材料科学与工程学院教授
- 第29章** 苑惠林 北京化工大学材料科学与工程学院副教授
- 第30章** 张军 南京工业大学材料科学与工程学院教授
- 第31章** 赵洪 哈尔滨理工大学副校长, 教授, 博士生导师

目 录

第一篇 专 论

第 1 章 纳米塑料	1
1.1 经济实用的制备工艺	2
1.2 优异的物理力学性能和加工性能	2
1.3 纳米塑料的应用领域与典型纳米塑料举例	3
参考文献	9
第 2 章 基于微观相界面设计与调控的高分子/无机粉体复合技术	12
2.1 高分子/无机粉体复合体系中微观相界面的设计与调控	12
2.2 高分子/无机粉体复合技术	13
第 3 章 聚合物/无机纳米复合材料热点述评	20
3.1 纳米及纳米科技概述	20
3.2 聚合物/无机纳米复合材料热点述评	22
3.3 聚合物/无机纳米复合材料的用途	31
第 4 章 化学建材用 PVC 合金及纳米复合材料	32
4.1 国内外 PVC 门窗异型材发展状况	32
4.2 PVC 门窗异型材基础树脂的改性概况	33
4.3 PVC/ACR 共混合金的结构-相态-性能研究概况	36
4.4 PVC/纳米 CaCO_3 复合材料研究进展	38
参考文献	43
第 5 章 聚合物降解与稳定化	48
5.1 聚合物耐老化性	48
5.2 聚合物的降解现象	49
5.3 聚合物降解的原理	50
5.4 聚合物的稳定化	54
5.5 结论	57

第二篇 塑料助剂及其应用

第 6 章 阻燃剂的功能与重点品种应用技术	58
6.1 阻燃机理及阻燃技术	58
6.2 阻燃剂应用技术	62
第 7 章 新型增塑剂品种与塑料制品应用	76
7.1 无毒生物可降解增塑剂	76
7.2 天然多元醇增塑剂	80
7.3 偏苯三酸酯类增塑剂	81
7.4 均苯四酸四辛酯增塑剂	83
7.5 聚酯类增塑剂	86
参考文献	90
第 8 章 聚氯乙烯热稳定剂	92
8.1 热稳定剂的概述	92
8.2 有机锡热稳定剂	97
8.3 有机锡的发展方向	104
8.4 有机锡的参考配方	104
8.5 铅盐热稳定剂	105
8.6 金属皂类热稳定剂	108
8.7 液体复合热稳定剂及 β -二酮	114
8.8 稀土热稳定剂及有机锡热稳定剂	117
参考文献	121
第 9 章 REC 稀土多功能稳定剂及其在 PVC 中的应用	122
9.1 产品性能特点	123
9.2 作用原理	130
9.3 稀土系聚氯乙烯制品配方设计	133
9.4 应用效果	136
第 10 章 软聚氯乙烯用阻燃剂和抑烟剂	140
10.1 软聚氯乙烯用阻燃剂	140
10.2 软聚氯乙烯的抑烟剂	155
参考文献	173
第 11 章 塑料着色	174
11.1 颜料在塑料中的分散	174

11.2	颜料分散理论	176
11.3	颜料的润湿和细化	178
11.4	颜料细化后的稳定化	186
11.5	颜料的(混合)分散与实例	189
11.6	聚氯乙烯着色的几个问题	190
第 12 章	塑料抗氧剂和光稳定剂的作用功能、常用品种及应用探讨	198
12.1	抗氧剂、光稳定剂的作用与功能	198
12.2	抗氧剂、光稳定剂的选用原则及常用品种	210
12.3	抗氧剂、光稳定剂应用探讨	220
12.4	结论	229
	参考文献	229
第 13 章	ACR 和 MBS 抗冲改性剂的应用技术	231
13.1	概述	231
13.2	ACR 和 MBS 抗冲改性剂的制备技术	234
13.3	ACR、MBS 抗冲改性剂的结构及其对 PVC 的增韧机理	236
13.4	ACR 抗冲改性剂对 PVC 性能的影响及选用	240
13.5	MBS 抗冲改性剂对 PVC 性能的影响及选用	244
13.6	结束语	247
第 14 章	润滑剂与润滑作用	248
14.1	概述	248
14.2	润滑剂的化学结构及作用机理	250
14.3	相容性与润滑作用	252
14.4	内、外润滑作用的平衡	261
14.5	润滑剂的选择	264
14.6	评价润滑剂的标准	266
14.7	实验室中评价润滑作用的方法	268
14.8	热稳定剂的润滑作用及其理论分析	280
14.9	ACR 加工助剂对树脂加工性能的影响	290
14.10	其他塑料用润滑剂	292
14.11	国产润滑剂及配方设计	293
14.12	脱模剂	295
	参考文献	295
第 15 章	功能化助剂在塑料包装材料中的应用及发展	297

15.1	功能化助剂在塑料包装材料中的应用	298
15.2	塑料包装材料功能化应用中的热点问题	306
15.3	结论	310
	参考文献	310
第 16 章	无机粉体材料在聚烯烃塑料中的应用	311
16.1	无机粉体材料在塑料中应用的重要意义	311
16.2	聚烯烃塑料常用的无机粉体材料的种类和加工技术	312
16.3	塑料改性对无机粉体材料的基本要求	316
16.4	无机粉体材料在聚烯烃塑料制品中的应用	319
16.5	结束语	326
	参考文献	328
第 17 章	抗菌剂	329
17.1	概述	329
17.2	抗菌剂的作用机理	334
17.3	抗菌剂的性能	336
17.4	抗菌剂的种类和应用	345
	参考文献	356
第 18 章	抗菌材料配方的选择及其在抗菌制品中的适用性	357
18.1	常用材料的分类与抗菌功能化	357
18.2	抗菌制品的制造、用途与抗菌功能化要求	358
18.3	抗菌剂的品质选择与使用目的	358
18.4	抗菌剂和抗菌材料的应用途径	359
第 19 章	稀土助剂在聚烯烃高性能化方面的应用	364
19.1	稀土化合物在高分子材料中的应用概况	364
19.2	稀土化合物作为无机粉体的表面处理剂在塑料改性中的应用	365
19.3	稀土化合物作为 β 成核剂在 PP 塑料改性中的应用	373
第 20 章	含氟高分子化合物与加工助剂	379
20.1	含氟聚合物加工助剂 (PPA) 的应用机理	379
20.2	含氟聚合物加工助剂 (PPA) 的功能	381
20.3	含氟聚合物加工助剂 (PPA) 使用方法和注意事项	382
20.4	含氟聚合物加工助剂 (PPA) 应用举例	384
20.5	使用安全事项	389
	主要参考文献	390

第 21 章 硫醇甲基锡热稳定剂在 PVC 塑料中的应用	391
21.1 有机锡热稳定剂的研究、生产现状及发展趋势	391
21.2 硫醇甲基锡在 PVC 硬制品中的使用	396
21.3 硫醇甲基锡在 PVC 硬制品中的配方实例	399
第 22 章 无毒 PVC 塑料配方技术	403
22.1 环保要求	403
22.2 环保法规及检测方法	408
22.3 对策	412
22.4 配方技术	413
22.5 生产技术	414
第 23 章 硬聚氯乙烯塑料及其异型材配方设计和评价	417
23.1 硬聚氯乙烯的韧性和抗冲击改性	417
23.2 硬聚氯乙烯的加工性能及加工助剂	428
23.3 硬聚氯乙烯异型材的配方设计和评价方法	432
第 24 章 PVC 软制品与配方设计	446
24.1 概述	446
24.2 原材料选用及配方设计原理	446
24.3 PVC 软制品配方设计原理	454
参考文献	473
第 25 章 聚氯乙烯热塑性弹性体	474
25.1 概述	474
25.2 聚氯乙烯热塑性弹性体的发展概况	475
25.3 聚氯乙烯热塑性弹性体的结构、性能和用途	476
25.4 聚氯乙烯热塑性弹性体的加工成型与配方设计	481
主要参考文献	484
第 26 章 塑料助剂在电缆料中的应用	487
26.1 塑料助剂在聚氯乙烯电缆料中的应用	487
26.2 塑料助剂在聚烯烃电缆料中的应用	506
第 27 章 煤矿用抗静电管的制造	511
27.1 抗静电剂的选择	511
27.2 导电炭黑的导电机理	513
27.3 几种抗静电塑料的研制	515
参考文献	520

第 28 章 建筑塑料制品的配方设计特点	521
28.1 建筑塑料制品的发展和需求	521
28.2 主要性能要求与配方设计特点	522
28.3 结束语	534
第 29 章 挤出发泡与配方设计	535
29.1 概述	535
29.2 挤出工艺流程	535
29.3 硬聚氯乙烯泡沫塑料的配方设计	540
第 30 章 鞋用聚氯乙烯塑料配方设计	547
30.1 注射成型聚氯乙烯全塑鞋	547
30.2 注射成型改性聚氯乙烯鞋	552
30.3 高聚合度聚氯乙烯鞋用材料	559
第 31 章 转矩流变仪及其在塑料加工中的应用	566
31.1 转矩流变仪的组成与特点	566
31.2 动力及转矩测量	568
31.3 功能单元及性能指标	569
31.4 混炼器在塑料加工中的应用	571
31.5 挤出机在表征与评价塑料加工性能中的应用	577
31.6 转矩流变仪在塑料加工中的其他应用	582

第一篇 专 论

第 1 章 纳 米 塑 料

纳米塑料是指用层状硅酸盐作为分散相,利用插层聚合、熔融插层等特殊工艺方法制备的聚合物/层状硅酸盐纳米复合材料。层状硅酸盐主要来源于天然蒙脱土,故又称聚合物/黏土纳米复合材料[参见美国“科学”(Science)和英国“自然”(Nature)杂志]。纳米塑料一词主要出现于工业性和商业性杂志中。蒙脱土的基本单元结构片层厚约 1nm,长宽约 100nm,用插层聚合等工艺所制备的纳米复合材料形成特殊的“纳米马赛克”结构,类似在有有机聚合物基体上贴上了一层无机纳米马赛克,具有一般塑料所不具备的优异性能,特别是气体阻隔性和熔体黏度反常下降。

利用蒙脱土具有离子交换反应特性制备有机化蒙脱土,有机蒙脱土能进一步与单体或聚合物熔体反应,在单体聚合或聚合物熔体混合的过程中原位生成纳米尺度的结构片层,均匀分散到聚合物基体中,从而形成纳米塑料。纳米塑料能够将无机物的刚性、尺寸稳定性和热稳定性与聚合物的韧性、可加工性及耐腐蚀性完美地结合起来,是典型的轻质高强材料。插层复合技术在传统工艺基础上不需要新的投资,环境友好,易工业化。

20 世纪 80 年代末日本首先发明了两步法制备尼龙 6/蒙脱土纳米复合材料。随后,美国康奈尔大学和宾夕法尼亚大学等进行了系统的理论研究。美国于 1995 年成立 Nanocor 公司,开始聚合物/黏土纳米复合材料的工业化试制。中科院化学所于 1993 年在国家基金委、“863”新材料专家委员会和科技部等项目资助下,开始了纳米塑料的系统研究,到 2000 年已成功地开发出了以聚酰胺、聚酯、

聚乙烯、聚丙烯、环氧树脂、硅橡胶、聚苯胺、聚氨酯等为基材的一系列纳米塑料，申请专利 13 项，其中公开专利 8 项，授权 5 项，纳米超高分子量聚乙烯（n-UHMWPE）管项目通过省级鉴定，获得河北省科技进步二等奖，2000 年成立了北京联科纳米材料有限公司，部分产品已出口日本。纳米 PET 在燕山石化聚酯厂成功地进行了工业化放大。完成了部分产品的工业化应用。

1.1 经济实用的制备工艺

纳米塑料中用作纳米无机相材料的蒙脱土（MMT），是我国丰产的一类天然黏土矿物，是一种层状硅酸盐。其结构片层是纳米尺度的，包含有三个亚层，在两个硅氧四面体亚层中间加含一个铝氧八面体亚层，亚层之间通过共用氧原子以共价键连接，结合极为牢固。整个结构片层厚约 1nm，长宽约 100nm，由于铝氧八面体亚层中的部分铝原子被低价原子取代，片层带有负电荷，过剩的负电荷靠游离于层间的 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等阳离子平衡，因此容易与烷基季铵盐或其他有机阳离子进行离子交换反应生成有机化蒙脱土，有机化蒙脱土成亲油性，并且层间的距离增大，因此有机蒙脱土能进一步与单体或聚合物熔体反应，在单体聚合或聚合物熔体混合的过程中剥离为纳米尺度的结构片层，均匀分散到聚合物基体中，从而形成纳米塑料。这种插层复合技术是基于在传统工艺基础上的技术革新，不需要新的高昂设备投资，工艺简单，操作方便，环境友好，特别适合于聚合物改性，容易实现工业化生产。

1.2 优异的物理力学性能和加工性能

1.2.1 高强度和耐热性

插层复合技术能够实现有机物基体与无机物分散相在纳米尺度上的复合，所得的纳米塑料能够将无机物的刚性、尺寸稳定性和热稳定性与聚合物的韧性、可加工性及介电性完美的结合起来。纳米塑料中含蒙脱土的量较少，一般在 10%（质量）以下，通常仅 3%~5%（质量），但其刚性、强度、耐热性等性能与常规玻璃纤

维或矿物填充增强复合材料 [填充量 30% (质量) 左右甚至更高] 相当, 因而纳米塑料的相对密度较低, 比强度和比模量高而又不损失其冲击强度, 能够有效地降低制品重量, 方便运输。同时, 由于纳米粒子尺寸小于可见波长, 纳米塑料具有高的光泽和良好的透明度。

1.2.2 高阻隔及自熄灭性

由于聚合物基体与蒙脱土片层的良好结合, 通过控制纳米硅酸盐片层的平面取向, 纳米塑料制品表现出良好的尺寸稳定性和良好的气体 (包括水蒸气) 阻隔性。如尼龙 6 纳米复合材料 [含蒙脱土 2% (质量)] 氧气透过率与纯的尼龙 6 相比降低了一半, 水蒸气的透过率降低了 1/3 以上。一些纳米塑料还具有阻燃自熄灭性能。

1.2.3 优良的加工性

纳米塑料熔体强度高, 结晶速度快, 熔体黏度低, 因此注塑、挤出和吹塑的加工性能优良。尤其是挤出级、注塑级纳米超高分子量聚乙烯, 解决了超高分子量聚乙烯加工的难题。

1.3 纳米塑料的应用领域与典型纳米塑料举例

与一般复合材料相比, 含有少量蒙脱土的纳米塑料表现出优异的综合性能, 因此它们比常规填充复合材料要轻。美国权威机构发表的 “Nanocomposite Market Opportunities” 一文中称纳米塑料是 21 世纪前几十年塑料工业的超星。良好的性能组合、简单的加工工艺和合理的价格使得纳米塑料在各种高性能管材、汽车及机械零部件、电子和电气部件、啤酒罐装、肉类和奶酪制品的包装材料市场等领域中将有广泛的应用前景。

1.3.1 尼龙 6 纳米塑料 (n-PA6)

普通尼龙 6 具有良好的物理机械性能, 例如拉伸强度高, 耐磨性优异, 抗冲击韧性好, 耐化学药品和耐油性突出, 是五大工程塑料中应用最广的品种。但是, 普通尼龙 6 的吸水率高, 在较强外力和加热条件下, 其刚性和耐热性不佳, 制品的稳定性和电热性较差, 在许多领域的应用受到限制。

我们应用天然丰产的蒙脱土层状硅酸盐作为无机分散相，发明了一步法制备尼龙 6 纳米塑料 (n-PA6)，现已获得中国国家发明专利。该复合材料与纯尼龙 6 相比具有高强度、高模量、高耐热性、低吸湿性、高尺寸稳定性、阻隔性能好，性能全面超过尼龙 6，并且具有良好的加工性能；与普通的玻璃纤维增强和矿物增强尼龙 6 相比，相对密度低、耐磨性好，具有良好的综合性能，其应用领域非常广泛。可用于制造汽车零部件，尤其是发动机内有耐热性要求的零件，还可用于办公用品、电子电器零部件、日用品等，此外还可用于制造管道等挤出制品，尼龙 6 纳米塑料是工程塑料行业的理想材料，该产品的开发为塑料工业注入了新的概念。其性能指标参见表 1-1。

表 1-1 聚酰胺 6 纳米塑料 (n-PA6) 的性能

项 目	单 位	PA6 ^①	n-PA 6		
			注塑级	挤出级	增韧级
密度	g/cm ³	1.14	1.15~1.17	1.15~1.17	1.15~1.17
拉伸强度	MPa	75	96	102	74
拉伸模量	GPa	2.5	4.2	4.7	3.5
断裂延伸率	%	30	14	10	56
弯曲强度	MPa	115	152	170	139
弯曲模量	GPa	3.0	3.4	4.1	2.9
Izod 缺口冲击强度 (23℃)	J/m	40	127	107	240
热变形温度 (1.82MPa)	℃	65	155	145	128

① PA6 为未加蒙脱土，用作参比的尼龙 6。

在 n-PA6 作为工程塑料的基础上，我们还制备了高性能 n-PA6 膜用切片，该切片适用于吹塑和挤出制备热收缩肠衣膜、双向拉伸膜、单向拉伸膜及复合膜。与普通 PA 膜相比，n-PA6 膜具有更佳的阻隔性、力学性能和透明性，因而是更好的食品包装材料。其性能指标参见表 1-2。