

共混改性 工程塑料

邓如生 主编



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

共混改性工程塑料

邓如生 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

共混改性工程塑料/邓如生主编. —北京: 化学工业出版社, 2003. 6
ISBN 7-5025-4416-X

I. 共… II. 邓… III. 工程塑料-共混-改性
IV. TQ322.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 030859 号

共混改性工程塑料

邓如生 主编
责任编辑: 白艳云
文字编辑: 徐雪华
责任校对: 凌亚男
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
北京管庄永胜印刷厂印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 19¼ 字数 521 千字

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4416-X/TQ · 1711

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

前 言

共混改性高分子材料经过几十年的发展,已成为高分子材料科学与工程领域的一个重要分支,其发展促进了汽车、电气、电子、机械等相关工业的发展,并成为汽车等相关工业中不可缺少的结构材料。

20 世纪 80 年代,高分子共混改性引起了国内众多高校、科研院所的广泛关注与兴趣,纷纷投身于改性工程塑料开发的热潮之中,20 世纪 90 年代进入产业化阶段。到目前为止有上百家单位从事共混工程塑料的开发与生产,总生产能力达 20 万吨,已经形成了具有一定规模的新型材料产业。但总体来说,整个行业还存在着生产规模小、力量分散、生产技术水平低、产品质量不高、高性能产品甚少的问题。同时,由于投资小,因此重复建设多,国内企业相互竞争激烈,经济效益普遍较低。

由于改性工程塑料是技术密集型行业,国内大部分企业技术开发能力不强,产品结构单一,缺乏技术服务手段,缺乏发展后劲,因而难以参与国际竞争。

改性工程塑料的开发涉及的知识面广,作为专业的技术开发人员应掌握基础工程塑料、通用塑料、橡胶弹性体及各助剂的性能、高分子合成、化学与物理、现代化学分析、高分子材料成型加工原理与方法,特别是相关工业对材料的要求、各种高分子改性技术等知识。只有掌握这些基本知识,在产品开发过程中才能收到事半功倍的效果。同时,对技术开发与生产管理者来说,重视产品开发与生产过程中每个细小的环节,弄清影响产品性能的关键因素,实现精细化操作是极为重要的,这一点正是国内企业与国外公司的差距所在。

作者认为我国改性工程塑料还是一个朝阳产业,正处于发展的

初期阶段，需要业内科技工作者的关注与支持，需要全行业中科研单位、生产经营企业的共同奋斗，努力把本行业发展成为具有竞争力的高技术产业。为了给国内工程塑料业发展贡献微薄之力，我们收集了大量的相关信息资料，参考国内外相关专著与刊物，并结合自己多年研究的经验与体会，编写了此书。书中力求全面地反映近年来高分子材料科学与工程界的研究成果，将行业的新理论、新成果介绍给广大读者。

本书介绍了五大工程塑料及与之相关的助剂的品种与特性，并较详细地介绍了各种改性工程塑料的性能与特点。特别是注重改性工程塑料工程方面的理论与实践，阐明工艺配方与工程化的紧密关系，精细化操作与产品高性能的关系，以及工艺过程的原理。其用心在于给从事改性工程塑料产品开发与生产的专业管理人员一种新的思维与观念，期盼对我国改性工程塑料的发展起到一定的作用。

本书第1章、2章、4章、5章由邓如生编写，第3章、10章由张怀中编写，第6章、7章由肖勤莎编写，第8章、9章由李馥梅编写，全书由邓如生统稿、审定。

虽然我们作了很大的努力，但是，鉴于我们知识水平有限，书中错误及疏漏之处在所难免，敬请读者不吝赐教。

本书编写得到了湘潭大学博士生导师王霞玉教授的指教，同时采纳了众多作者的思想与成果，对此深表谢意。

编者

于湖南岳阳

二〇〇二年十二月十八日

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 基本概念	1
1.2 聚合物共混改性的发展	3
1.2.1 改性工程塑料的发展	3
1.2.2 聚合物改性理论的发展	4
1.2.3 改性技术及其发展	6
1.2.4 改性工程塑料加工技术与设备的最新发展	9
1.3 工程塑料及其改性的目的与意义	10
1.3.1 工程塑料分类及一般特性	10
1.3.2 工程塑料改性的目的与意义	12
1.4 改性工程塑料发展的趋势	13
参考文献	14
第 2 章 聚合物共混改性的基本理论	15
2.1 聚合物共混理论	15
2.1.1 聚合物共混合金的形态与结构	15
2.1.2 聚合物合金的相容性	20
2.1.3 相容性原则	25
2.1.4 聚酰胺共混增容技术	25
2.2 关于弹性体的增韧机理	27
2.2.1 早期的增韧理论概述	27
2.2.2 近代增韧理论	30
2.3 阻燃化理论	34
2.3.1 聚合物燃烧过程与燃烧反应	34
2.3.2 卤-锑系阻燃剂的阻燃机理	35
2.3.3 磷系阻燃剂的阻燃机理	36
2.3.4 氮系阻燃剂的阻燃机理	37
参考文献	38

第3章 工程塑料改性剂	39
3.1 增韧剂	39
3.1.1 增韧剂的种类	40
3.1.2 热塑性弹性体	43
3.1.3 增韧剂应用	45
3.1.4 动态硫化	49
3.1.5 成核剂及增韧作用	51
3.2 相容剂	51
3.2.1 相容剂的作用原理	52
3.2.2 相容剂的种类	56
3.2.3 相容剂的合成	60
3.2.4 反应挤出制备相容剂	61
3.2.5 相容剂的应用	66
3.3 纤维增强剂	68
3.3.1 纤维增强的原理	68
3.3.2 玻璃纤维	69
3.3.3 碳纤维和石墨纤维	72
3.3.4 聚芳胺类纤维 (PPTA)	73
3.3.5 聚酯纤维和聚乙烯醇纤维	75
3.3.6 晶须 (whiskers)	76
3.3.7 填充剂增强剂对热塑性塑料的性能影响	79
3.4 矿物填料	79
3.4.1 填料的作用机理	80
3.4.2 天然矿物填料	80
3.4.3 人工合成无机填料	82
3.4.4 各种粉末填料的物理性质及其适用范围	87
3.4.5 粉末金属填料	87
3.4.6 填充剂和增强剂的应用原则	88
3.5 偶联剂及表面活性剂	89
3.5.1 偶联剂	90
3.5.2 表面活性剂	92
3.6 阻燃剂	93
3.6.1 阻燃剂的作用	93

3.6.2	阻燃剂的种类	94
3.6.3	有机阻燃剂	95
3.6.4	无机阻燃剂	101
3.6.5	阻燃协效剂及阻燃助剂	103
3.6.6	消烟剂	104
3.6.7	阻燃剂在塑料中的应用	105
3.7	润滑与流动改性剂	106
3.7.1	润滑剂的分子结构及作用	106
3.7.2	润滑剂的分类	106
3.7.3	工程塑料用润滑剂	107
3.8	抗静电剂	112
3.8.1	抗静电剂的作用机理	112
3.8.2	抗静电剂种类与特性	113
3.8.3	抗静电剂的使用	115
3.8.4	导电塑料	116
	参考文献	117
第4章	工程塑料改性工程与设备	121
4.1	概述	121
4.1.1	共混改性工程塑料生产过程	121
4.1.2	聚合物混合分散过程与状态	122
4.1.3	共混设备与改性工程塑料产业的发展	124
4.2	干燥与设备	125
4.2.1	工程塑料干燥过程与要求	125
4.2.2	鼓风干燥与设备	126
4.2.3	真空干燥与设备	126
4.3	预混合与设备	126
4.3.1	共混组分预混合的基本原则与要求	126
4.3.2	混合设备	127
4.4	熔融混炼与双螺杆挤出机	129
4.4.1	双螺杆挤出机的熔融与混合原理	129
4.4.2	双螺杆挤出机	133
4.4.3	新型混炼元件	142
4.4.4	材质与螺杆使用寿命	143

4.4.5 双螺杆组合与应用	143
4.4.6 双螺杆挤出机操作过程中的异常现象与对策	153
参考文献	159
第5章 改性聚酰胺	160
5.1 概述	160
5.1.1 聚酰胺的基本性能与特点	160
5.1.2 尼龙改性的目的	162
5.1.3 改性尼龙的最新进展与发展趋势	163
5.2 增强尼龙	165
5.2.1 玻璃纤维增强尼龙	166
5.2.2 碳纤维增强尼龙	185
5.2.3 芳纶增强尼龙	191
5.2.4 无机晶须增强尼龙	193
5.3 填充尼龙	195
5.3.1 概述	195
5.3.2 填充尼龙制备的主要控制因素	196
5.3.3 填充尼龙的性能	201
5.4 阻燃尼龙	202
5.4.1 概述	202
5.4.2 阻燃尼龙的配方设计	204
5.4.3 阻燃尼龙制造过程的影响因素与控制	206
5.4.4 阻燃尼龙品种与性能	216
5.4.5 阻燃尼龙的特性	221
5.5 抗静电尼龙	222
5.5.1 概述	222
5.5.2 尼龙用抗静电剂及其作用	222
5.5.3 抗静电尼龙组成与性能设计	224
5.5.4 抗静电尼龙制造的主要控制因素	224
5.5.5 抗静电尼龙的性能	227
5.6 增韧尼龙	227
5.6.1 概述	227
5.6.2 尼龙用增韧剂及其特点	229
5.6.3 增韧技术及应用	231

5.6.4	增韧尼龙组成与性能的设计	233
5.6.5	增韧尼龙制造过程的主要控制因素	234
5.6.6	增韧 PA6 和增韧 PA66 的性能	246
5.6.7	增韧尼龙的特性	247
5.7	尼龙合金	249
5.7.1	尼龙合金化的目的与品种	249
5.7.2	尼龙合金的发展	250
5.7.3	尼龙合金的设计	251
5.7.4	尼龙合金生产的控制因素	256
5.7.5	尼龙合金的品种与性能	268
5.8	纳米尼龙	301
5.8.1	纳米材料的一般特征与功能	301
5.8.2	用于工程塑料的纳米材料种类与特性	302
5.8.3	聚合物纳米复合材料的制备技术	304
5.8.4	尼龙蒙脱土纳米复合材料的制备与性能	305
5.8.5	聚酰胺纳米复合材料	311
5.8.6	PA6/CaCO ₃ 无机纳米粒子复合材料	311
5.9	耐磨自润滑尼龙	313
5.9.1	尼龙的摩擦磨损机理	313
5.9.2	尼龙的摩擦磨损特性	314
5.9.3	抗磨添加剂及其作用机理	314
5.9.4	耐磨尼龙的制备与应用	317
5.10	改性聚酰胺的应用	318
5.10.1	聚酰胺的应用概况	318
5.10.2	在汽车工业中的应用	319
5.10.3	在拖拉机上的应用	329
5.10.4	在机械工业中的应用	331
5.10.5	在铁道、机车工程中的应用	331
5.10.6	在电气工业中的应用	333
5.10.7	在电子工业上的应用	334
5.10.8	在通讯、家用电器中的应用	334
5.10.9	在体育运动器械上的应用	335
5.10.10	在其他行业的应用	336

参考文献	336
第 6 章 改性聚酯	341
6.1 概述	341
6.1.1 聚酯的性能和特征	343
6.1.2 聚酯改性与产品特性	345
6.1.3 聚酯改性技术与应用的发展趋势	347
6.2 增强聚酯	348
6.2.1 增强聚酯的品种与增强材料	348
6.2.2 增强聚酯的制造与控制因素	349
6.2.3 增强聚酯品种与性能	353
6.3 阻燃聚酯	365
6.3.1 阻燃聚酯制造与控制因素	365
6.3.2 阻燃 PBT、PET 产品与性能	368
6.4 PET 结晶性与成型加工性的改进	375
6.4.1 成核剂种类	375
6.4.2 成核剂的应用	376
6.5 聚酯合金	378
6.5.1 聚酯合金化目的与意义	378
6.5.2 聚酯合金的制造与控制	378
6.5.3 PET 合金品种与性能	385
6.5.4 PBT 合金及性能	387
6.6 聚酯纳米复合材料	398
6.6.1 聚酯纳米复合材料的性能与特点	398
6.6.2 聚酯纳米复合材料的制备方法	401
6.7 改性聚酯的应用	401
6.7.1 改性聚酯在汽车工业中的应用	401
6.7.2 改性聚酯在电子、电气、通讯、电器工业中的应用	403
6.7.3 改性聚酯市场发展趋势	404
参考文献	404
第 7 章 改性聚甲醛	406
7.1 概述	406
7.1.1 聚甲醛发展简况	406
7.1.2 聚甲醛的性能与特点	407

7.1.3	聚甲醛改性的目的	409
7.2	共混改性聚甲醛品种与特性	410
7.2.1	增强聚甲醛	410
7.2.2	增韧聚甲醛	415
7.2.3	POM 共混合金	418
7.2.4	高耐磨 POM 复合材料	424
7.3	改性聚甲醛的应用	426
7.3.1	改性聚甲醛在汽车工业的应用	426
7.3.2	改性聚甲醛在电子电器工业的应用	427
7.3.3	改性聚甲醛在机械工业的应用	428
	参考文献	429
第 8 章	改性聚碳酸酯	430
8.1	概述	430
8.1.1	聚碳酸酯的性能特点	430
8.1.2	聚碳酸酯改性的目的	432
8.1.3	改性聚碳酸酯品种和性能特征	432
8.2	增强聚碳酸酯的制备	433
8.2.1	增强聚碳酸酯的性能与特点	433
8.2.2	增强聚碳酸酯的制备及控制因素	435
8.3	PC/ABS 合金的制备	436
8.3.1	ABS 改性 PC 的目的及意义	437
8.3.2	PC/ABS 合金的相容性	437
8.3.3	PC/ABS 合金的相容剂选择与设计	438
8.3.4	PC/ABS 合金的制备与控制因素	441
8.3.5	PC/ABS 合金的性能与特点	454
8.3.6	PC/ABS 合金的高性能化和功能化	456
8.4	PC/PO 合金的制备	460
8.4.1	PC/PO 合金化的目的及意义	460
8.4.2	PC/PO 合金用相容剂的选择与设计	460
8.4.3	PC/PO 合金的制备与控制因素	461
8.4.4	PC/PO 合金的性能与特点	472
8.5	PC/PS 合金的制备	472
8.5.1	PC/PS 合金化的目的及意义	472

8.5.2	PC/PS 合金的相容性	472
8.5.3	PC/PS 合金的相容剂选择与设计	474
8.5.4	PC/PS 合金的制备与控制因素	475
8.5.5	PC/PS 合金的性能与特点	484
8.6	PC/饱和聚酯合金	485
8.6.1	PC/饱和聚酯合金化的目的及意义	485
8.6.2	PC 与饱和聚酯的相容性	486
8.6.3	PC/饱和聚酯合金的相容剂选择及设计	489
8.6.4	PC/饱和聚酯合金的制备及控制因素	490
8.6.5	PC/饱和聚酯合金的性能与特点	506
8.7	PC 与其他聚合物组成的合金	508
8.7.1	PC/PA 合金	508
8.7.2	PC/SMAH 合金	510
8.7.3	PC/氟树脂合金	512
8.7.4	PC/PMMA 合金	513
8.7.5	PC/POM 合金	513
8.7.6	PC/TPU 合金	513
8.8	改性聚碳酸酯的加工	513
8.8.1	改性聚碳酸酯的加工特性	513
8.8.2	改性聚碳酸酯的加工工艺与要求	514
8.9	改性聚碳酸酯的应用	515
8.9.1	改性聚碳酸酯在汽车工业上的应用	515
8.9.2	改性聚碳酸酯在电子电气工业上的应用	516
8.9.3	改性聚碳酸酯在机械工业上的应用	517
8.9.4	改性聚碳酸酯在日用品和办公设备等其他领域中的应用	517
	参考文献	518
第 9 章	改性聚苯醚	522
9.1	概述	522
9.1.1	聚苯醚的性能特点	522
9.1.2	改性聚苯醚的品种与特点	524
9.2	功能化聚苯醚	524
9.2.1	溴化及磷酸酯化聚苯醚	524
9.2.2	氨基化和磺化聚苯醚	526

9.2.3	烯丙基化聚苯醚	526
9.3	PPO/PS 合金的制备	527
9.3.1	PPO/PS 合金的制备方法	527
9.3.2	PPO/HIPS 合金制备的主要控制因素	527
9.3.3	PPO/PS 合金的高性能化	528
9.3.4	PPO/PS 合金的性能与特点	533
9.4	PPO/PA 合金的制备	535
9.4.1	PPO/PA 合金化的目的及意义	535
9.4.2	PPO/PA 合金的增容技术	536
9.4.3	PPO/PA 合金的制备与控制因素	543
9.4.4	PPO/PA 合金的性能与特点	545
9.5	PPO 与其他聚合物的合金	546
9.5.1	PPO/PBT、PPO/PET 合金	546
9.5.2	PPO/ABS 合金	547
9.5.3	PPO/弹性体合金	547
9.5.4	PPO/PO 合金	549
9.5.5	PPO/PTFE 合金	549
9.5.6	PPO/PPS 合金	550
9.6	改性聚苯醚的加工	550
9.6.1	改性聚苯醚的加工特性	550
9.6.2	改性聚苯醚的加工工艺与条件	550
9.7	改性聚苯醚的应用	551
9.7.1	改性聚苯醚在汽车上的应用	552
9.7.2	改性聚苯醚在电子电气上的应用	552
9.7.3	改性聚苯醚在办公设备方面的应用	552
9.7.4	改性聚苯醚在机械工业方面的应用	553
9.7.5	改性聚苯醚的其他用途	553
	参考文献	553
	第 10 章 改性特种工程塑料	555
10.1	聚苯硫醚	556
10.1.1	概况	556
10.1.2	聚苯硫醚的特性	556
10.1.3	聚苯硫醚的改性	558

10.1.4	聚苯硫醚加工	564
10.1.5	聚苯硫醚及其改性材料的应用	566
10.2	聚砜	567
10.2.1	概述	567
10.2.2	聚砜的特性	568
10.2.3	改性聚砜材料	570
10.2.4	聚砜的成型加工	575
10.2.5	聚砜的开发方向	576
10.2.6	聚砜的应用	576
10.3	聚酰亚胺	577
10.3.1	聚酰亚胺性能	577
10.3.2	聚均苯四甲酰亚胺 (PMMI)	578
10.3.3	聚醚酰胺 (PEI)	579
10.3.4	聚酰胺-酰亚胺 (PAI)	581
10.3.5	聚酰亚胺改性	582
10.3.6	聚酰亚胺应用	582
10.4	氟塑料	584
10.4.1	聚四氟乙烯 (PTFE)	585
10.4.2	聚偏氟乙烯 (PVDF)	586
10.4.3	氟塑料改性	586
10.4.4	氟塑料的应用	588
10.5	其他特种工程塑料	588
10.5.1	聚芳醚酮	588
10.5.2	液晶聚合物	591
10.5.3	聚芳酯	595
10.5.4	聚苯酯	597
	参考文献	599

第 1 章 概 论

随着汽车、电子、电气、通讯、机械行业的蓬勃发展，高分子材料越来越受到人们的青睐。高分子材料以其密度小、强度高、耐候性好、耐腐蚀、易加工等优异性能，广泛地用于汽车、电子、电气、通讯、航天航空、机械、农业等众多领域。尤其是工程塑料的推广应用，有力地促进了汽车、电子、电气、航天航空、机械等工业的发展，但随着相关工业的飞速发展，产品的高性能化进程，对高分子材料性能的要求越来越高，而且，不同行业、不同产品、不同的用途对材料有不同的要求。如汽车发动机及周边部件，对材料的普遍要求是耐热性好、强度高。而对于具体的不同部件，如发动机气缸盖除要求耐热性好、强度高外，还要求部件的尺寸稳定性要好，而点火线圈则要求阻燃与高强度。因此，单一的基础树脂，很难满足相关工业的需要。同时，由于原料来源的限制，开发一个新的基础树脂很不容易。因此，业界长期以来，利用现有基础树脂，通过各种改性的方法开发出不同用途的新品种，其中包括共聚改性与共混改性。尤其是共混改性技术的开发，使人们用简单易行的手段，生产出多种牌号、具有不同性能的新型材料，给有机高分子材料产业带来无限的生机。

1.1 基本概念

所谓工程塑料，日本松岛定义为：拉伸强度在 49MPa，弯曲弹性模量 2GPa 以上，耐热温度在 100℃ 以上的可用于汽车部件、机械部件、电子电气部件等工业的塑料。在 150℃ 以上条件下能长期使用的为特种塑料或超级工程塑料。

改性工程塑料就是以基础工程塑料为基料，通过加入改性单体与之反应，或者在基体树脂中添加一些改性剂进行共混所制造的塑

料。其改性方法有化学改性和物理改性。

化学改性是两种不同单体进行共聚反应或在基础树脂中加入第三单体进行接枝反应，以此来改善基础树脂性能的改性方法。化学改性的基本特征是原树脂的大分子链结构发生了根本性变化，即改变了原基础树脂的化学结构。

物理改性是在基础树脂中添加一些改性剂与之共混，所以又叫共混改性。共混改性在某意义上来说聚合物大分子链结构没有发生化学变化，而是体系组成与微观结构发生了变化。当然，随着高分子合金化技术的发展，化学改性与物理改性已没有明显的界定，两者互相渗透，共混过程也伴随着化学反应的发生。因此，化学改性与物理改性的提法只是从改性过程的主体变化来划分的。

从工艺上讲，化学改性的过程与控制较为复杂，物理改性工艺简单，而且具有很强的针对性，产品设计的自由空间相对很宽，原料的选择也可以多样化。

共混改性的方法很多，从其改性作用划分，有增强改性、阻燃改性、填充改性、弹性体增韧与合金化、功能化（如抗菌、导电、耐磨改性）等方法。

从实施技术角度讲，所用的改性技术有分子复合技术、原位复合、就地增容技术、互穿网络技术、相容化技术、动态硫化技术。利用共混改性技术能生产多种不同用途的产品，生产操作弹性大，实现一机多用，产品系列化与专用化。

从改性工程塑料的品种看，大致可分为高分子复合材料和高分子共混合金两大类。

所谓复合材料是指由两种或两种以上的材料组成的一种有用的多相材料，材料中各组分在化学性质或物理性能上是不同的，组分之间有明显的界面。

高分子复合材料可分为高分子/无机复合材料、高分子/有机复合材料。聚合物纳米复合材料是一类十分重要的新型材料。

所谓纳米复合材料（nanocomposite）是指材料两相显微结构中至少有一相的一维尺寸达到纳米级尺寸，基本颗粒直径在1~