



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高分子合成材料学

第二版

陈平 廖明义 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高分子合成材料学

第二版

陈 平 廖明义 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《高分子合成材料学》分为上、下两篇。主要介绍具有重要应用价值的热固性与热塑性高分子合成材料。

上篇热固性高分子合成材料主要介绍酚醛树脂、不饱和聚酯树脂、环氧树脂、聚氨酯树脂、双马来酰亚胺树脂、聚酰亚胺树脂、氰酸酯树脂、有机硅树脂等热固性高分子合成材料的合成工艺原理、制造工艺、改性原则、结构与性能关系、成型加工及其应用。力求取材新颖，论述深入浅出，理论联系实际，提供很强的实用价值。

下篇热塑性高分子合成材料系统地介绍了五大通用树脂，即聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯和ABS树脂，以及通用工程塑料聚酰胺、聚碳酸酯、PET和PBT。详细地介绍了这些合成树脂的合成原理、生产工艺、结构与性能关系以及加工与应用。所涉及的树脂品种皆为已经工业化生产的品种，内容条理清晰，注重反应原理、结构与性能之间的理论关系，并以成熟、完备的生产技术为依据，适当地介绍了一些有工业化前景的相关内容。

本书可满足高等工科大学高分子材料专业本科生和相关工程技术人员的学习工作需要。

图书在版编目 (CIP) 数据

高分子合成材料学/陈平，廖明义主编. —2版.

—北京：化学工业出版社，2010.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-122-08414-9

I. 高… II. ①陈…②廖 III. 高分子材料-高等学校-教材 IV. TB324

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 077047 号

责任编辑：杨 菁

文字编辑：颜克俭

责任校对：顾淑云

装帧设计：杨 北

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 装：三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张40¼ 字数1131千字 2010年8月北京第2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：68.00 元

版权所有 违者必究

再 版 前 言

《高分子合成材料学》这部教材自 2005 年出版以来，得到了高等院校高分子材料专业广大师生和社会相关专业人员的厚爱，在此作者深表诚挚谢意！

2007 年 7 月该书申报了普通高等教育“十一五”国家级规划教材，2008 年 2 月获得批准[见高教函 2008-3 号]进行重新修订。近年来中国经济的高速发展，加之科学技术进步日新月异，知识更新很快，经几年的使用，书中许多信息、数据与当前情况已有不符，有些内容也显陈旧。基于此，本书借助这次普通高等教育“十一五”国家级规划教材修订的机会，本着与时俱进的态度，对书中相关内容进行了一些修订，主要进行了以下几个方面的补充和修改。

1. 更新了一些数据，数据最新截止日期基本到 2007 年，个别到 2008 年。
2. 补充了一些最新技术进步的信息，特别是中国近年来的技术进步和成果。
3. 对全书内容进行了重新分类和调整，对于增韧机理、增强、增容、纳米材料、接枝等内容分别在不同章节有针对性地集中进行介绍。
4. 补充了一些最新成果，删除了一些重复叙述。
5. 对一些文字错误进行了修改，插图也进行了适当调整。

希望通过这些修订，能够给广大读者提供一本知识全面、内容丰富、信息准确、深入浅出、图文并茂的参考书，并能得到广大读者的喜爱，这就是编者最大的愿望。

感谢贾彩霞、王乾、张相一、李彬等研究生对书稿编辑整理所付出的辛勤劳动。

编者

2009 年 12 月

第一版前言

材料、信息、能源是当代科学技术的三大支柱。高分子材料是当今世界上十分重要的非常活跃的领域。它是材料领域中的后起之秀。自从 20 世纪初德国化学家 H. Staudinger 创立高分子长链概念以来,通过化学家、物理学家和材料工程学家等许多科技工作者的辛勤劳动,至今已经形成了一个较完整的高分子材料科学理论知识体系。高分子合成材料的出现与发展给材料领域带来了重大的变革,从而形成了金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料多元共存的格局。

高分子合成材料学是以高分子化学、高分子物理学和高分子成型工艺学为基础的,研究的范围是高分子材料的合成与改性、高分子的结构与性能、高分子材料的制备(成型加工)及其应用的一门科学。

高分子合成材料的发现、应用及推广,构成了人类进步与文明。从 20 世纪 50 年代迅速发展起来的合成树脂是目前产量最高、需求量最大、应用面最广的高分子合成材料,已经成为继金属、水泥、木材之后的第四种人类生存与发展的支柱材料,已在机械、化工、交通、航空、航天、船舶等众多国民经济与人民生活、国防建设与尖端技术领域发挥着重要的作用。

高分子合成树脂种类繁多,本书比较系统地介绍了其有重要应用价值的热固性和热塑性合成树脂的国内外发展历史、合成工艺原理、制造工艺、结构与性能关系、改性原则、成型加工工艺及其应用等内容。合成树脂在我国国民经济中占有十分重要的地位,随着石油化工工业的发展,我国合成树脂工业也取得了飞速发展。目前我国的合成树脂和塑料制品的产量和消费量均居世界前列,成为合成树脂和塑料制品的生产大国与消费大国。与之相对应,社会对高分子材料专业人才的需求也十分旺盛,为了配合高等教育对人才培养的需要,满足学生获取知识的愿望,我们组织编写了高分子合成材料学这本书。本书主要是为了满足高等工科院校高分子材料专业学生和相关工程技术人员需要编写的教材。为此,本书在内容编写上坚持取材新颖、理论深入浅出、理论联系实际、重视应用等基本原则,尽量做到既可以使读者在较短的时间从一定的深度和广度较为系统地掌握当今高分子合成树脂材料的基本知识概貌,又能基本了解今后可能的发展方向。

全书分为上、下两篇,上篇主要介绍酚醛树脂、环氧树脂、不饱和聚酯树脂、聚氨酯树脂、双马来酰亚胺树脂等热固性高分子合成材料,下篇主要介绍聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯等热塑性高分子合成材料。全书由陈平教授统稿。上篇绪论由陈平、廖明义编写,酚醛树脂由黄发荣和陈平编写,不饱和聚酯树脂由沈开猷和陈平编写,环氧树脂由陈平和唐传林编写,聚氨酯树脂由李绍雄和陈平编写,双马来酰亚胺树脂由梁国正和顾媛娟编写,聚酰亚胺树脂由陈平编写,氰酸酯树脂由包建文和陈平编写,有机硅树脂由罗运军和陈平编写;下篇由廖明义教授编写。

本书在编写过程中,研究生唐忠鹏、张宜鹏、孙明、张伟清、陆春等协助对图表进行了整理,在本书出版的过程中,得到了大连理工大学教材出版基金资助,谨此致以深切的谢意。最后感谢所有提供文献资料的作者和支持帮助本书编写的同仁们。

由于作者水平有限,书中一些不足之处难免,敬请读者批评指正。

编者
2005 年 1 月

目 录

绪论	1
0.1 高分子材料的发展简史	1
0.2 国内外发展现状	2
0.3 高分子的定义、分类、特点、命名	5
0.3.1 定义	5
0.3.2 分类	5
0.3.3 特点	6
0.3.4 命名	8

上篇 热固性高分子合成材料

第1章 酚醛树脂	9
1.1 酚醛树脂的原材料	10
1.1.1 酚类	10
1.1.2 醛类	12
1.2 酚醛树脂的生成反应和结构	13
1.2.1 热塑性酚醛树脂的生成反应和分子结构	13
1.2.2 热固性酚醛树脂的生成反应和分子结构	15
1.3 酚醛树脂的制造工艺	18
1.3.1 热固性酚醛树脂的制造工艺	18
1.3.2 热塑性酚醛树脂的制造工艺	19
1.3.3 影响酚醛反应的因素	20
1.4 酚醛树脂的固化	22
1.4.1 热固性酚醛树脂的固化反应	22
1.4.2 热塑性酚醛树脂的固化反应	26
1.5 酚醛树脂的基本性能	28
1.5.1 酚醛树脂的热性能及烧蚀性能	28
1.5.2 酚醛树脂的阻燃性能和发烟性能	29
1.5.3 酚醛树脂的耐辐射性	30
1.6 其他酚醛树脂	31
1.6.1 间苯二酚树脂	31
1.6.2 苯酚糠醛树脂	31
1.6.3 纯油溶性酚醛树脂	32
1.7 改性的酚醛树脂	32
1.7.1 苯胺改性的酚醛树脂	32
1.7.2 二甲苯树脂改性的酚醛树脂	34
1.7.3 苯酚改性的二苯醚树脂	35
1.7.4 聚乙烯醇缩丁醛改性的酚醛树脂	36
1.7.5 植物油改性的酚醛树脂	36

1.7.6 耐热的酚醛树脂	37
1.8 酚醛树脂的应用	37
1.8.1 酚醛模塑料	38
1.8.2 酚醛树脂层压塑料	40
1.9 酚醛树脂的研究新进展	41
1.9.1 树脂	41
1.9.2 复合材料及其加工工艺	43
第2章 不饱和聚酯树脂	44
2.1 不饱和聚酯树脂基体、原材料	44
2.1.1 不饱和二元酸及酸酐	45
2.1.2 饱和二元酸及酸酐	46
2.1.3 二元醇	47
2.1.4 交联单体	49
2.1.5 引发剂	51
2.1.6 阻聚剂	55
2.2 不饱和聚酯树脂复合物的组成及其固化	57
2.2.1 不饱和聚酯树脂复合物的组成	57
2.2.2 不饱和聚酯树脂复合物的固化反应	57
2.2.3 有机引发剂	59
2.2.4 热分解引发	59
2.2.5 化学分解引发	60
2.2.6 光引发	61
2.2.7 阻聚与缓聚	61
2.3 不饱和聚酯树脂的老化与防老化	62
2.3.1 紫外光的作用	62
2.3.2 空气中氧和臭氧的作用	63
2.3.3 水解降解作用	64
2.4 不饱和聚酯树脂的性能与应用	64
2.4.1 层压塑料与模压塑料	64
2.4.2 片状模塑料、团状模塑料	65
2.4.3 人造大理石和人造玛瑙	65
2.4.4 云母带胶黏剂	66
2.4.5 油改性不饱和聚酯漆	66
2.4.6 无溶剂漆	67
第3章 环氧树脂	68
3.1 环氧树脂的合成、制造、质量指标	68
3.1.1 双酚A型环氧树脂的合成制造	68
3.1.2 脂环族环氧树脂的合成	71
3.1.3 环氧树脂的质量指标	72
3.2 环氧树脂的基本性能	73
3.2.1 双酚A型环氧树脂	73
3.2.2 双酚F型环氧树脂	74
3.2.3 双酚S型环氧树脂	74
3.2.4 氢化双酚A型环氧树脂	74

3.2.5	线性酚醛型环氧树脂	74
3.2.6	多官能基缩水甘油醚树脂	75
3.2.7	多官能基缩水甘油胺树脂	76
3.2.8	具有特殊机能的卤化环氧树脂	77
3.3	环氧树脂的固化反应、固化剂和促进剂	78
3.3.1	环氧化物的反应性	78
3.3.2	含羟基化合物的固化反应	79
3.3.3	胺类的固化反应和固化剂	81
3.3.4	有机羧酸的固化反应	89
3.3.5	酸酐的固化反应	90
3.3.6	酸酐类固化剂	94
3.3.7	合成树脂类固化剂	99
3.3.8	环氧树脂固化反应应用促进剂	101
3.4	环氧树脂用辅助材料及其改性	102
3.4.1	稀释剂	102
3.4.2	增韧剂	105
3.4.3	填料	106
3.4.4	阻燃剂	107
3.4.5	纤维增强材料	111
3.5	环氧树脂的应用	115
3.5.1	环氧树脂涂料	115
3.5.2	环氧树脂胶黏剂	118
3.5.3	环氧树脂成型材料	120
3.5.4	纤维增强塑料和复合材料	123
3.5.5	环氧树脂的反应注射成型	124
第4章	聚氨酯树脂	127
4.1	聚氨酯的基本原材料	128
4.1.1	多元异氰酸酯	128
4.1.2	多羟基化合物和聚合物	129
4.1.3	助剂	130
4.2	聚氨酯的合成原理	137
4.2.1	异氰酸酯的化学反应	137
4.2.2	聚氨酯的生成反应	139
4.3	聚氨酯的制造工艺	140
4.3.1	熔融法	140
4.3.2	溶液法	140
4.4	聚氨酯的应用	141
4.4.1	聚氨酯泡沫塑料	141
4.4.2	聚氨酯弹性体	144
4.4.3	聚氨酯涂料	148
4.4.4	聚氨酯胶黏剂	150
4.4.5	聚氨酯密封胶	151
第5章	双马来酰亚胺树脂	153
5.1	双马来酰亚胺的合成原理	153

5.2	双马来酰亚胺的性能	155
5.2.1	熔点	155
5.2.2	溶解性能	155
5.2.3	反应性	155
5.2.4	耐热性能	155
5.2.5	力学性能	156
5.2.6	BMI 固化物的热稳定性	156
5.3	双马来酰亚胺树脂的改性	157
5.3.1	与链烯基化合物的共聚改性	157
5.3.2	二元胺改性 BMI	161
5.3.3	热塑性树脂改性 BMI	163
5.3.4	环氧改性 BMI	168
5.3.5	氰酸酯改性 BMI	168
5.3.6	降低后处理温度工艺改性	168
5.4	新型双马来酰亚胺的合成	169
5.4.1	链延长型 BMI	169
5.4.2	取代型 BMI	174
5.4.3	稠环型 BMI	174
5.4.4	噻吩型 BMI	175
5.4.5	含特殊元素 BMI	176
5.4.6	树脂传递模塑用 BMI 树脂	176
5.4.7	线性酚醛型多马来酰亚胺树脂	176
5.5	双马来酰亚胺树脂的应用	177
5.5.1	电气绝缘材料	177
5.5.2	高温胶黏剂	177
5.5.3	航空航天结构-功能复合材料	177
第 6 章	聚酰亚胺树脂	180
6.1	均苯型聚酰亚胺	180
6.1.1	用熔融缩聚法制备聚酰亚胺	180
6.1.2	用两步法制备聚酰亚胺	181
6.2	可溶性聚酰亚胺	186
6.2.1	6F 二酞型聚酰亚胺	187
6.2.2	二苯醚四羧酸二酞型聚酰亚胺	189
6.2.3	用含亚胺环的二酞制备聚酰亚胺	189
6.3	加成型聚酰亚胺	189
6.3.1	PMR 型聚酰亚胺	190
6.3.2	乙炔端基型聚酰亚胺	191
6.4	聚酰亚胺的性能	192
6.4.1	聚酰亚胺的热稳定性	192
6.4.2	聚酰亚胺的化学稳定性	195
6.4.3	聚酰亚胺的介电性能	196
6.4.4	聚酰亚胺的力学性能	197
6.5	改性聚酰亚胺	197
6.5.1	聚酰胺酰亚胺	197

6.5.2	聚酯酰亚胺	199
6.5.3	聚酯-酰胺-酰亚胺	201
6.5.4	聚苯并咪唑-酰亚胺	201
6.5.5	聚砜-酰亚胺	201
6.6	聚酰亚胺的应用	202
6.6.1	聚酰亚胺薄膜	202
6.6.2	聚酰亚胺漆	205
6.6.3	聚酰亚胺胶黏剂	206
6.6.4	高性能工程塑料	208
6.6.5	聚酰亚胺纤维	211
6.6.6	聚酰亚胺复合材料	212
第7章	氰酸酯树脂	214
7.1	氰酸酯树脂单体的合成	214
7.2	氰酸酯树脂的固化反应	216
7.2.1	氰酸酯固化反应机理	216
7.2.2	催化剂对固化反应的影响	216
7.3	氰酸酯树脂的基本性能	220
7.3.1	氰酸酯树脂的结构与性能	220
7.3.2	氰酸酯固化物的热分解机理	226
7.3.3	氰酸酯树脂基复合材料的性能	226
7.4	氰酸酯的改性	229
7.4.1	氰酸酯改性环氧树脂	229
7.4.2	氰酸酯改性双马来酰亚胺树脂	234
7.4.3	氰酸酯的增韧改性	236
7.5	氰酸酯的应用	237
第8章	有机硅树脂	239
8.1	硅及硅键的化学特性	239
8.2	有机硅单体的合成	240
8.2.1	有机卤硅烷的合成方法	241
8.2.2	甲基氯硅烷的合成	243
8.2.3	苯基氯硅烷的合成	246
8.2.4	其他有机硅单体的合成	248
8.3	聚有机硅氧烷的生成反应	248
8.3.1	水解缩合	248
8.3.2	催化重排	255
8.3.3	在高温下利用空气中氧的作用提高相对分子质量	256
8.3.4	杂官能单体缩聚制备聚有机硅氧烷	257
8.4	有机硅树脂的性能	257
8.4.1	热稳定性	257
8.4.2	聚有机硅氧烷液体及弹性体的特征	260
8.4.3	电绝缘性	260
8.4.4	力学性能	261
8.4.5	耐候性	263
8.4.6	耐化学药品性	264

8.4.7 憎水性	265
8.5 有机硅树脂的改性	265
8.5.1 有机硅改性醇酸树脂	266
8.5.2 有机硅改性聚酯树脂	267
8.5.3 有机硅改性丙烯酸树脂	268
8.5.4 有机硅改性环氧树脂	268
8.5.5 有机硅改性酚醛树脂	269
8.5.6 硅氧烷改性聚酰亚胺树脂	270
8.6 有机硅树脂的应用	271
8.6.1 有机硅绝缘漆	271
8.6.2 有机硅胶黏剂	277
8.6.3 有机硅塑料	281
8.6.4 微粉及梯形聚合物	287
参考文献	288

下篇 热塑性高分子合成材料

第9章 聚乙烯	289
9.1 发展简史	289
9.2 低密度聚乙烯	291
9.2.1 反应机理	291
9.2.2 生产工艺	292
9.2.3 结构与性能	293
9.2.4 加工和应用	296
9.3 高密度聚乙烯	297
9.3.1 反应机理	297
9.3.2 生产工艺	298
9.3.3 结构与性能	299
9.3.4 加工和应用	300
9.4 线性低密度聚乙烯	301
9.4.1 反应机理	301
9.4.2 生产工艺	301
9.4.3 结构与性能	303
9.4.4 加工和应用	306
9.5 超高分子量聚乙烯	307
9.5.1 生产工艺	307
9.5.2 结构与性能	308
9.5.3 加工和应用	310
9.6 茂金属聚乙烯	312
9.6.1 发展简介	312
9.6.2 生产工艺	313
9.6.3 结构与性能	314
9.6.4 加工和应用	315
9.7 双峰聚乙烯	315
9.7.1 双峰聚乙烯的制造方法	316

9.7.2	生产工艺	317
9.7.3	结构与性能	318
9.8	共聚聚乙烯树脂	319
9.8.1	乙烯-乙酸乙烯酯共聚物	319
9.8.2	乙烯-丙烯酸乙酯共聚物	321
9.8.3	乙烯-丙烯酸甲酯、乙烯-马来酸酐共聚物	323
9.8.4	乙烯-(甲基)丙烯酸共聚物	324
9.8.5	乙烯-乙烯醇共聚物	325
9.8.6	乙烯-氯乙烯共聚物	326
9.8.7	离子型树脂	326
9.9	PE 改性	327
9.9.1	化学改性	327
9.9.2	共混改性	334
9.9.3	填充改性	336
	参考文献	340
第 10 章	聚丙烯	341
10.1	发展简史	341
10.2	等规聚丙烯	343
10.2.1	反应机理	343
10.2.2	生产工艺	345
10.2.3	结构与性能	348
10.2.4	加工和应用	354
10.3	间规聚丙烯	358
10.3.1	生产工艺	358
10.3.2	结构与性能	358
10.4	茂金属聚丙烯	359
10.4.1	结构与性能	359
10.4.2	加工与应用	360
10.5	无规聚丙烯	360
10.5.1	生产工艺	360
10.5.2	结构与性能	360
10.6	共聚聚丙烯树脂	360
10.6.1	丙烯-乙烯无规共聚物	361
10.6.2	丙烯-乙烯嵌段共聚物	362
10.7	聚丙烯改性	363
10.7.1	化学改性	363
10.7.2	共混改性	366
10.7.3	填充改性	373
10.7.4	聚丙烯纳米复合材料	376
10.7.5	透明改性	380
	参考文献	383
第 11 章	聚氯乙烯	385
11.1	发展简史	385
11.2	反应机理	387

11.3	生产工艺	388
11.3.1	悬浮聚合生产工艺	389
11.3.2	乳液聚合生产工艺	396
11.3.3	微悬浮聚合法工艺	399
11.3.4	本体法生产工艺	402
11.3.5	其他聚合方法	403
11.4	结构和性能	404
11.4.1	化学结构	404
11.4.2	颗粒结构和形态	405
11.4.3	PVC 树脂聚集态结构	409
11.4.4	性能	409
11.4.5	加工和应用	413
11.5	共聚 PVC 树脂	416
11.5.1	氯乙烯/乙酸乙烯酯共聚物	417
11.5.2	氯乙烯/偏二氯乙烯共聚物	417
11.5.3	氯乙烯/丙烯酸酯共聚物	418
11.5.4	氯乙烯/烯烃共聚物	419
11.5.5	氯乙烯/马来酰亚胺共聚物	420
11.6	PVC 共混改性	421
11.6.1	增韧改性	421
11.6.2	耐热改性	429
11.6.3	加工改性	430
11.7	PVC 其他改性	431
11.7.1	PVC 交联	431
11.7.2	氯化 PVC	434
11.7.3	PVC 填充	435
11.8	PVC 热塑性弹性体	436
11.8.1	HP-PVC	437
11.8.2	离子交联型 TPVC	437
11.8.3	共混型 TPVC	438
11.8.4	TPVC 加工和应用	438
11.9	PVC 纳米复合材料	438
	参考文献	441
第 12 章	苯乙烯类	444
12.1	发展简史	444
12.2	通用聚苯乙烯	445
12.2.1	反应机理	445
12.2.2	生产工艺	446
12.2.3	结构与性能	448
12.2.4	加工和应用	449
12.3	可发性聚苯乙烯	450
12.3.1	生产原理和工艺	450
12.3.2	结构与性能	452
12.3.3	加工和应用	454

12.4	高抗冲聚苯乙烯	456
12.4.1	生产工艺	456
12.4.2	结构与性能	457
12.4.3	加工和应用	461
12.5	间规聚苯乙烯	461
12.5.1	生产工艺	461
12.5.2	结构与性能	462
12.5.3	加工和应用	464
12.6	共聚 PS 树脂	465
12.6.1	丙烯腈/苯乙烯共聚物	465
12.6.2	丙烯酸酯/丙烯腈/苯乙烯共聚物	467
12.6.3	丙烯腈/乙烯-丙烯-二烯烃三元乙丙橡胶/苯乙烯共聚物	468
12.6.4	丙烯腈/氯化聚乙烯/苯乙烯共聚物	469
12.6.5	甲基丙烯酸甲酯/苯乙烯共聚物	470
12.6.6	甲基丙烯酸甲酯/丁二烯/苯乙烯共聚物	471
12.6.7	苯乙烯/马来酸酐共聚物	472
12.6.8	苯乙烯/马来酰亚胺共聚物	473
12.6.9	K 树脂	474
12.7	聚苯乙烯共混改性	475
12.7.1	聚苯乙烯与 PPO 共混	475
12.7.2	聚苯乙烯与 PO 共混	476
12.7.3	其他共混改性	477
	参考文献	477
第 13 章	ABS 树脂	479
13.1	发展简史	479
13.2	反应机理	481
13.3	生产工艺	482
13.3.1	ABS 生产工艺分类	482
13.3.2	乳液接枝-掺混生产工艺	484
13.3.3	连续本体法	487
13.3.4	其他 ABS 树脂生产工艺	489
13.4	结构与性能	490
13.4.1	结构	490
13.4.2	增韧机理	490
13.4.3	性能	491
13.4.4	加工和应用	496
13.5	ABS 改性	497
13.5.1	化学改性	497
13.5.2	共混改性	499
	参考文献	509
第 14 章	聚酰胺	511
14.1	聚酰胺 6	511
14.1.1	发展简史	511
14.1.2	反应机理	513

14.1.3	生产工艺	514
14.2	聚酰胺 66	516
14.2.1	发展简史	516
14.2.2	聚酰胺 66 聚合反应机理	518
14.2.3	聚酰胺 66 生产工艺	518
14.3	结构与性能	519
14.3.1	结构	519
14.3.2	性能	520
14.4	加工和应用	526
14.4.1	加工	526
14.4.2	应用	526
14.5	改性	527
14.5.1	共聚改性	528
14.5.2	共混改性	529
14.5.3	增韧改性	536
14.5.4	增强改性	538
14.5.5	填充改性	542
14.5.6	阻燃改性	543
14.5.7	分子复合	543
14.5.8	聚酰胺纳米复合材料	544
14.6	其他聚酰胺	550
14.6.1	聚酰胺 1010	550
14.6.2	聚酰胺 11	552
14.6.3	聚酰胺 12	556
14.6.4	聚酰胺 46	558
14.6.5	聚酰胺 610、612	559
14.6.6	单体浇铸聚酰胺 6	561
14.6.7	透明聚酰胺	563
	参考文献	564
第 15 章	聚碳酸酯	566
15.1	发展简史	566
15.2	反应原理	567
15.2.1	光气界面缩聚法	567
15.2.2	熔融酯交换法	568
15.2.3	非光气酯交换法	568
15.3	生产工艺	568
15.3.1	光气法工艺	569
15.3.2	熔融酯交换法工艺	570
15.3.3	非光气酯交换法工艺	570
15.3.4	其他非光气酯交换法工艺	573
15.4	结构和性能	573
15.4.1	碳酸丙烯酯结构	573
15.4.2	性能	574
15.5	加工和应用	576

15.5.1	加工	576
15.5.2	应用	576
15.6	碳酸丙烯酯树脂改性	578
15.6.1	共聚改性	578
15.6.2	共混改性	579
15.6.3	其他改性方法	586
	参考文献	586
第 16 章	热塑性聚酯	588
16.1	聚对苯二甲酸乙二醇酯	588
16.1.1	发展简史	588
16.1.2	反应机理	590
16.1.3	生产工艺	591
16.1.4	结构和性能	595
16.1.5	加工和应用	598
16.1.6	PET 改性	600
16.2	聚对苯二甲酸丁二醇酯	612
16.2.1	发展简史	612
16.2.2	反应机理	613
16.2.3	生产工艺	614
16.2.4	结构和性能	615
16.2.5	加工和应用	618
16.2.6	改性	619
	参考文献	626

绪 论

0.1 高分子材料的发展简史

高分子材料具有许多独特和优异的性能，用途十分广泛，已广泛应用于机械、化工、交通运输、航空航天及民用生活等各工业领域中，已成为各工业领域中不可缺少的基础材料。

高分子合成材料不仅是人们生活和生产必须的物质基础，而且影响到相关领域的发展。

比如有了耐腐蚀性能非常优异的氟化高分子材料，原子能工业用浓缩铀的储存问题才得到解决。再比如有了耐高温、抗烧蚀的酚醛树脂材料，才可能制造宇宙飞船、人造卫星、洲际导弹等国防尖端材料。当前各高新技术领域的发展，都越来越离不开高分子材料了，当然对其性能也提出了越来越苛刻的要求。

高分子材料在自然界中是广泛存在的。在人类出现之前，广袤的大自然就已经存在了各种各样的动植物，从各种动植物到人类本身，都是由高分子如蛋白质、核酸、多糖（淀粉、纤维素）等为主构成的。自从有了人类以来，人们的衣食住行就一直在利用这些天然高分子。人们住房建筑用的茅草、木材、竹材；制作交通工具用的木材、油漆，还有天然橡胶等都是高分子材料。此外人类历史上早就使用的棉、麻、丝、毛、皮革、角等天然材料均是高分子材料。显然，高分子材料对人类的生存和发展有特别重要的意义和作用。

虽然人类一直在利用这些天然高分子材料，但是，长期以来人们对它的本质可以说是毫无所知的。高分子概念的形成和高分子科学的出现始于 20 世纪 20 年代。虽然在 19 世纪中叶还没有形成长链高分子这种概念，但是高分子就已经得到了应用。与古代人类直接利用天然高分子材料相比，那时主要是通过化学反应对天然高分子进行改性，现在称这类高分子为人造高分子。比如，1839 年美国 Goodyear 发明了天然橡胶的硫化；1855 年英国人 Parks 由硝化纤维和樟脑制得了赛璐珞（celluloid）塑料；1883 年法国人 de Chardonnet 发明了人造丝（rayon）等。当时由于高分子聚合物结构非常复杂，在早期由于受到生产力和科学技术水平发展的限制和认识上的局限，曾把高分子溶液误认为是胶体溶液，把高分子看成是小分子的简单堆积，形成了所谓的“胶团”，而否认已经发生了质变，否认“大分子的存在”。

随着科学技术的发展，特别是随着高分子合成工业及近代科学技术的进步，1920 年由德国具有创新意识的科学家 H. Staudinger 提出了高分子的长链结构并形成了高分子的概念。从而开始了用化学方法制备合成高分子的时代。由此高分子化学渐渐萌生和发展。这时一些有机化学家开展了缩聚反应及自由基聚合反应的研究，并通过这些反应在 1907 年由比利时出生的美国化学家巴克兰（Bakeland）第一次合成了具有工业价值的人类历史上第一个合成树脂——酚醛树脂，申请了关于酚醛树脂“加压、加热”固化的专利技术，并于 1910 年 10 月 10 日成立了 Backlite 公司。从此拉开了人造合成树脂和塑料工业发展的序幕，开辟了人类大规模生产和使用高分子材料的新时代。到 1927 年第一个热塑性塑料——聚氯乙烯的生产实现了商品化。1930 年高分子链结构学说被广泛地公认后，人们相继开发了合成橡胶（丁苯橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶等）、合成纤维（尼龙 66、聚丙烯腈、聚酯等）、合成塑料（聚乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯等）等一大批高分子合成材料。从而形成了包括聚合反应理论、新的聚合方法及改性方法、高分子基团反应、高分子降解、交联与老化等研究在内的高分子化学