

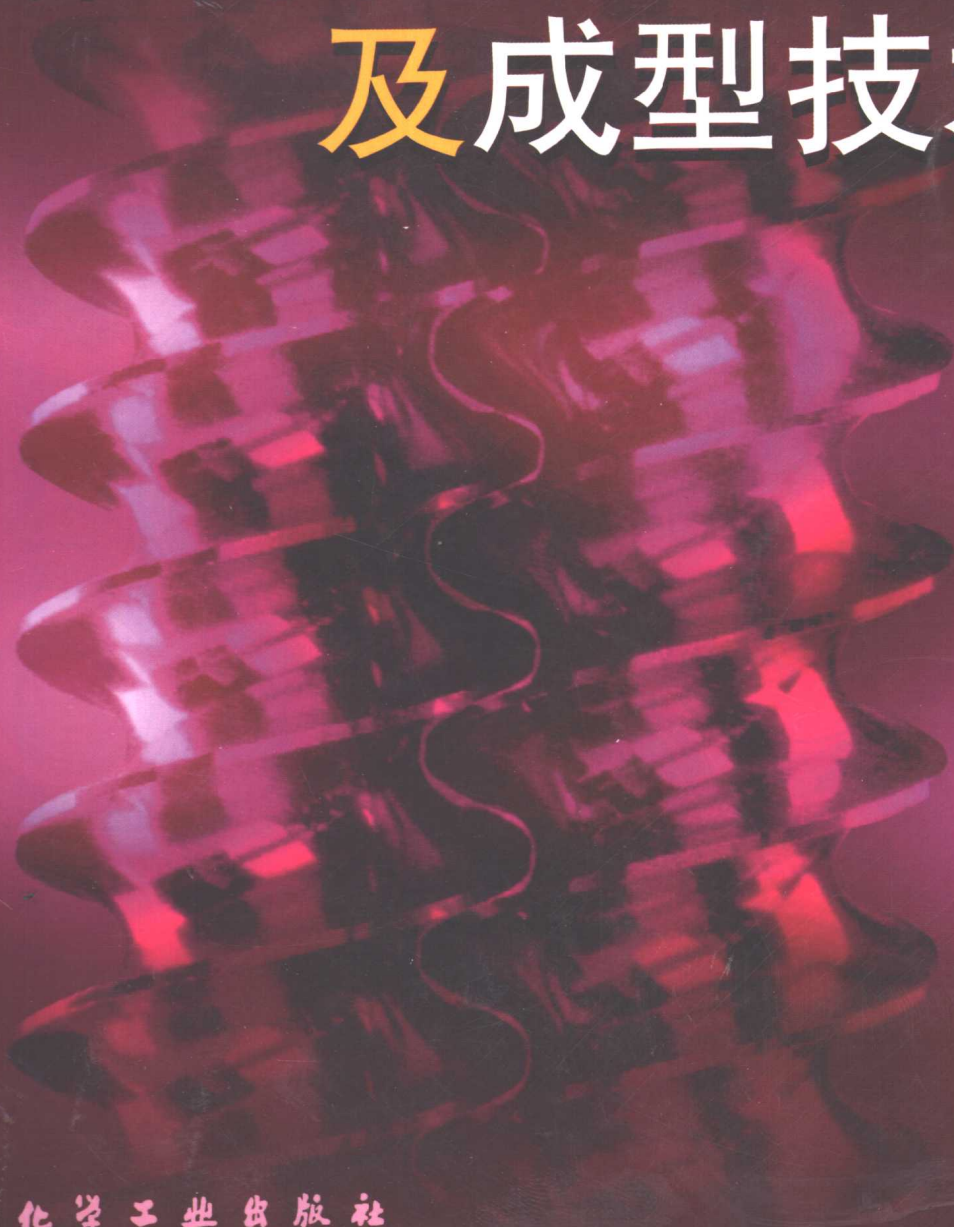
跨世纪的
高分子科学

国家自然科学基金委员会 委内出版基金资助出版

Polymer Processing Principle and Technology

瞿金平 胡汉杰 主编

聚合物成型原理 及成型技术



北京)

6.3



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

跨世纪的高分子科学

聚合物成型原理及成型技术

瞿金平 胡汉杰 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

聚合物成型原理及成型技术/瞿金平, 胡汉杰主编.
北京: 化学工业出版社, 2001.6
(跨世纪的高分子科学)
ISBN 7-5025-3205-6

I. 聚… II. ①瞿…②胡… III. 高聚物-加工-
研究 IV. TQ31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 20397 号

跨世纪的高分子科学
聚合物成型原理及成型技术

瞿金平 胡汉杰 主编

责任编辑: 叶 露

责任校对: 蒋 宇

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) 64918013
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷厂印刷
三河市东柳装订厂装订
开本 787×1092 毫米 1/16 印张 21 字数 510 千字
2001 年 7 月第 1 版 2001 年 7 月北京第 1 次印刷
印 数: 1—4000
ISBN 7-5025-3205-6/TQ·1362
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

《跨世纪的高分子科学》丛书

主 编：胡汉杰

副主编：周其凤 杨玉良 瞿金平 何天白

《聚合物成型原理及成型技术》分册

顾 问：徐 僊 王佛松

主 编：瞿金平 胡汉杰

编 委（以姓名汉语拼音为序）：

安立佳 郭少云 何天白 胡汉杰 梁瑞凤 刘兆峰 瞿金平
任鸿烈 申开智 张 海 赵得禄 郑安呐 周持兴 朱复华

编写人员：

- 第1章 胡汉杰 国家自然科学基金委员会化学部 研究员
(胡汉杰、周其凤、杨玉良、瞿金平、何天白共同讨论,胡汉杰执笔)
- 第2章 周持兴 上海交通大学化学化工学院 教授
- 第3章 朱复华 北京化工大学塑料机械及塑料工程研究所 教授
- 第4章 郭少云 四川大学高分子研究所 教授
- 第5章 安立佳 中国科学院长春应用化学研究所 研究员
- 第6章 瞿金平 华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心
教授
彭响方 华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心
副教授
- 第7章 瞿金平 华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心
教授
- 第8章 梁瑞凤 (美)西弗吉尼亚大学化学工程系 副教授
王东燕 Technion-Israel Institute of Technology 化学工程系
博士后
- 第9章 任鸿烈 华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心
教授
- 第10章 郑安呐 华东理工大学材料工程学院 教授
司林旭 华东理工大学材料工程学院 博士

第 11 章	刘兆峰	东华大学材料科学与工程学院化学纤维研究所	研究员
	于俊荣	东华大学材料科学与工程学院化学纤维研究所	副研究员
第 12 章	张 海	华南理工大学工业装备与控制工程系	教授
第 13 章	申开智	四川大学高分子材料系	教授
	陈利民	四川大学高分子材料系	讲师
第 14 章	赵得禄	中国科学院化学研究所	研究员
第 15 章	何天白	中国科学院长春应用化学研究所	研究员
	卢红斌	复旦大学高分子科学系	博士后

本书由国家自然科学基金委员会资助出版

序

中国的高分子科学已经走过了近 50 年的发展历程。早在 20 世纪 50 年代，中国高分子科学的先驱者们带领着屈指可数的几个研究小组，走上了高分子科学的创业之路。在他们的辛勤努力下，中国的高分子科学在密切结合国民经济发展中迅速成长壮大。不少研究成果有力地支持了国民经济的发展和国防建设；一批有为的年轻高分子学者迅速成长；高分子科学的研究内容也在和其他学科的相互交叉、相互渗透下不断深入及拓展。时至今日，中国的高分子科学已成为包括高分子化学、高分子物理、高分子工程三个分支学科，研究队伍达万余人的一个最有活力的化学研究分支领域。它的研究触角已伸展到众多基础学科领域和众多国民经济的重要领域，在国家发展中扮演着重要的角色。值此世纪之交之际，国家自然科学基金委员会化学部在王夔院士的倡议和部署下，由高分子学科主任胡汉杰出面组织国内在第一线从事高分子科研工作的优秀中青年研究人员共同撰写《跨世纪的高分子科学》丛书，实为我国高分子学术界的一件大事，相信本丛书的出版一定会对我国高分子科学的进一步发展起到促进作用。

国家自然科学基金委员会本着总结过去、探讨未来的思路，期望为社会提供一套既反映我国高分子科学发展的全貌，又能体现未来发展端倪的高分子科学丛书，以便为今后高分子科学的发展提供借鉴。主要参与本书组织、编撰工作的周其凤、杨玉良、瞿金平、何天白等同志是我国高分子学术界的新一代杰出学者，国家自然科学基金委员会也希望在丛书的编撰工作中为他们提供一个提高自己对高分子不同分支学科掌握能力的机会，以期他们在今后我国高分子科学的发展中更好地发挥中坚作用。

《跨世纪的高分子科学》丛书共有 4 个分册，即《高分子化学》、《高分子物理》、《聚合物成型原理及成型技术》和《功能高分子与新技术》。整套丛书的内容以高分子科学基础研究的发展为线索，总结了学科基础研究派生出来的对国家发展产生了重要作用的新技术、新材料方面的成果，从而展现了我国高分子科学形成、发展的历程及在国家发展中的作用。丛书的内容包括了高分子化学、高分子物理、高分子工程、功能高分子及高分子新材料等高分子科学的主要分支领域，为我国高分子学术界、高分子产业界以及其他想了解高分子科学的专业人员，提供了可供参考的丰富素材。

我国的高分子科学水平和国外先进水平相比还有差距，高分子科学在我国经济建设中的重要作用还未充分发挥出来。我们期望，在未来的新世纪里，我国的高分子科学工作者尤其是青年学者，不负历史赋予的重任，努力工作，继续开拓，为我国高分子科学事业的发展创出更辉煌的成就。

中国化学会高分子学科委员会 主任

中国科学院院士

2000 年 5 月

于北京

王 伟 书

前 言

高分子材料是材料领域的后起之秀，它具有许多其他材料不可比拟的突出性能，在尖端技术、国防建设和国民经济各个领域已成为不可缺少的材料。大多数高分子材料需要经过成型加工才能形成制品，制品的质量取决于材料的选择和加工条件。高分子材料成型加工是控制其制品结构和性能的中心环节，内容涉及化学、物理、力学、机械、数理逻辑、计算机模拟等多学科，其任务是：了解高分子材料加工特性，确定最适宜加工条件，制取最佳性能产品，为合成具有预期性能的高分子材料提供理论依据，为解决高技术的突破提供关键材料。今后对这一学科的理解应上升到“这是一门学科交叉、科学与工程紧密结合的学科”的高度，重视对成型理论和加工新技术研究。

《聚合物成型原理及成型技术》一书各章执笔人皆是在这一学科领域有多年工作经验的专家、学者，对这一学科和行业领域的现状、水平和发展趋势进行了论述。这一专著对从事高分子科学与工程科技人员和高等院校有关专业的师生皆有参考价值，对促进我国高分子材料科学和工业的发展将会起到一定促进作用。

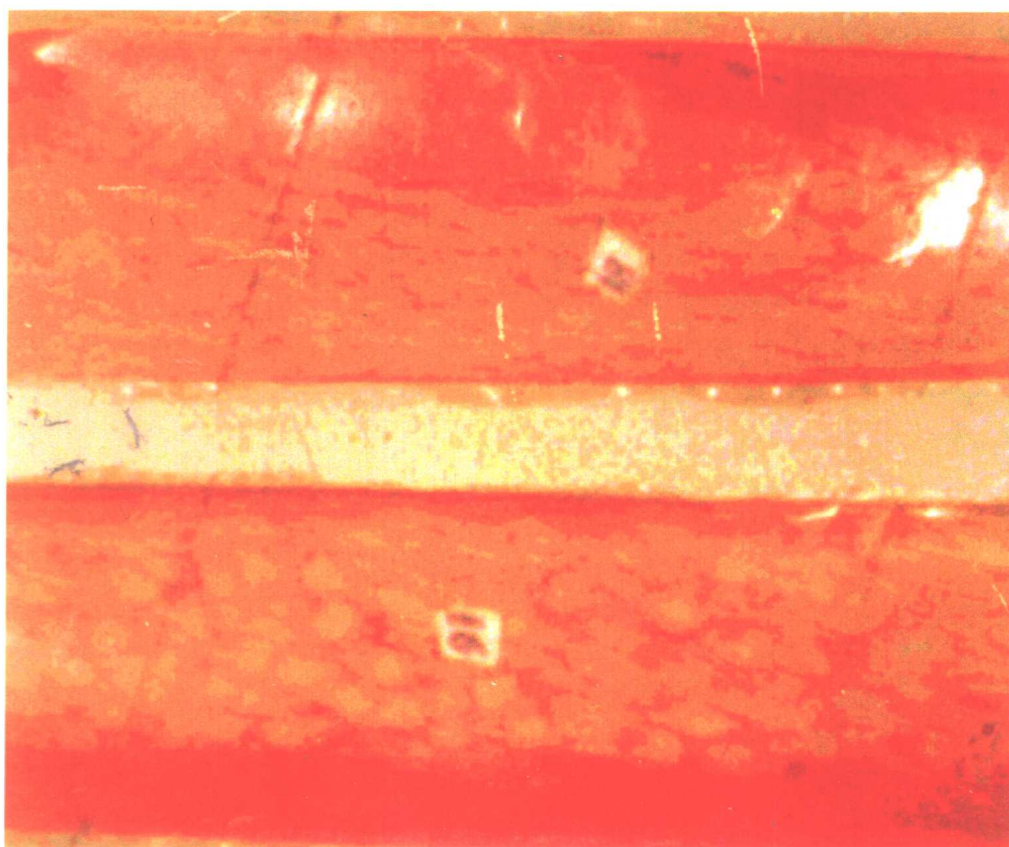
四川大学教授
中国科学院院士 徐倬
2000年12月8日
于成都

内 容 提 要

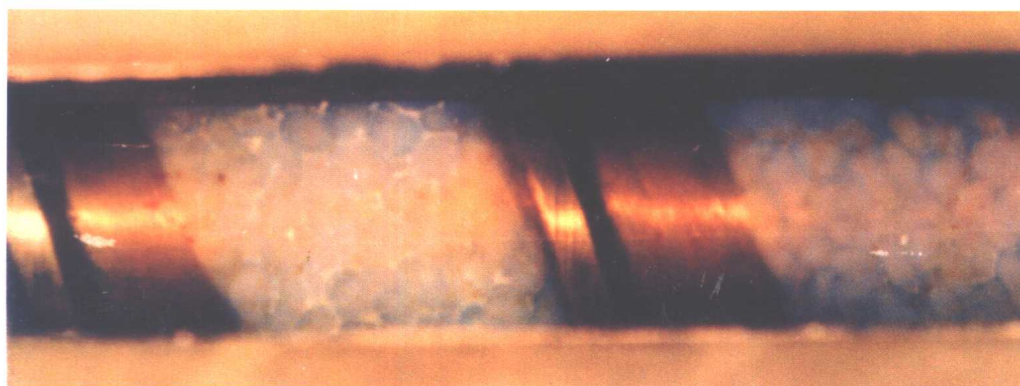
《跨世纪的高分子科学》丛书以高分子科学的发展为线索,总结了 50 年来我国高分子科学发展的成果和经验,反映了我国高分子学科的发展脉络、现状及未来。本丛书包括《高分子化学》、《高分子物理》、《聚合物成型原理及成型技术》和《功能高分子与新技术》四个分册,其内容基本覆盖了现代高分子科学的研究领域,反映出高分子学科的全貌。

《聚合物成型原理及成型技术》分册介绍了我国在分子聚合物成型过程中涉及到的流变学原理、热力学原理、力-化学原理、聚合物形态控制原理、计算机仿真模拟等方面基础研究的现状及所取得的成果,也对塑料、纤维、橡胶等聚合物材料的成型加工技术研究领域所获得的技术成果作了介绍,并对相关领域研究的发展趋势作了展望。读者可从本书获得聚合物成型领域的基础知识、新成型技术及窥视聚合物成型加工研究的发展趋势。

本书可以作为从事高分子科研与教学的专业人员、研究生,高分子产业部门的工程技术人员,对高分子感兴趣的其他领域专业人员的专业参考书。



彩图3-1 熔融过程中固态物料的拉伸变形



彩图3-2 固态1和熔态3之间的中间状态2

目 录

第1章 中国高分子科学的发展概况与趋势	1
1.1 历史的回顾	1
1.2 中国高分子科学研究的概况	3
1.2.1 一般概况	3
1.2.2 学科概况	3
1.2.3 学科特点	4
1.2.4 目前存在的问题	5
1.3 中国高分子化学的研究	6
1.4 中国高分子物理的研究	7
1.5 中国高分子工程的研究	8
1.6 中国功能高分子与新材料的研究	9
1.7 高分子科学发展趋势与展望	11
参考文献	12
第2章 聚合物成型原理及流变学	14
2.1 聚合物加工成型原理	14
2.2 聚合物熔体流变模型	15
2.2.1 各向异性聚合物链构象结构流变模型	17
2.2.2 指数定律流变模型	20
2.2.3 体积守恒流变模型	24
2.3 聚合物共混体系流变模型	24
2.3.1 聚合物/聚合物熔体共混过程动力学模型	24
2.3.2 聚合物共混体系静态凝聚理论	30
2.4 聚合物复杂流体的唯象定律	32
参考文献	34
第3章 聚合物在螺杆上的挤出过程	36
3.1 概述	36
3.1.1 挤出的特点	36
3.1.2 螺杆几何参数	37
3.1.3 挤出过程	37
3.1.4 研究领域—— g 函数群和 f 函数群	40
3.1.5 黑箱与可视化技术	40
3.1.6 挤出理论物理模型	44
3.2 固体输送理论	46

3.2.1 非塞流固体输送理论	46
3.2.2 塞流固体输送理论	50
3.3 熔融理论	56
3.3.1 熔融段第一区——上熔膜区	56
3.3.2 熔融段第二区——熔池区(Tadmor 熔融理论)	56
3.3.3 熔融段第三区——5 区模型	62
3.3.4 熔融段第四区——固相破碎理论	64
3.4 熔体输送理论——熔体输送区	68
3.4.1 基本方程及其简化	68
3.4.2 无限平行平板模型详解	70
3.4.3 牛顿平行平板模型的修正	74
3.4.4 二维和三维流动模型分析	77
参考文献	80
第 4 章 聚合物在应力作用下的力化学反应	82
4.1 引言	82
4.2 高分子溶液力化学反应	83
4.2.1 高分子溶液的超声波辐照力化学反应	83
4.2.2 高速搅拌下聚合物溶液的力化学反应	89
4.3 高分子固态力化学反应	90
4.3.1 力化学降解	90
4.3.2 新型力化学反应设备	93
4.3.3 固相力化学聚合和共聚合反应	93
4.3.4 聚合物共混填充体系的力化学增容	96
4.4 高分子熔体力化学反应	97
4.4.1 聚合物熔体的力化学降解	97
4.4.2 聚合物共混体系熔体力化学增容	99
4.4.3 聚合物熔体力化学改性	100
参考文献	101
第 5 章 聚合物合金成型过程中的热力学行为	104
5.1 引言	104
5.2 Flory-Huggins 理论	104
5.3 状态方程理论	105
5.3.1 Flory 状态方程理论	105
5.3.2 格子流体理论	106
5.3.3 SAFT 理论	107
5.4 近代物理方法在聚合物理论研究中的应用	107
5.4.1 标度与重整化群理论	108
5.4.2 密度泛函理论	108

5.4.3	格子集团理论	109
5.4.4	积分方程理论	109
5.5	结束语	110
	参考文献	110
第 6 章	振动力场作用下聚合物熔体的流动行为	116
6.1	概述	116
6.2	聚合物加工过程中的熔体振动技术	116
6.2.1	聚合物熔体中引入振动力场的基本体系	116
6.2.2	聚合物熔体振动挤出技术	116
6.2.3	聚合物熔体振动注射技术	119
6.3	振动力场对熔体黏弹性的影响	121
6.3.1	小振幅振动剪切流场中的黏弹流体	121
6.3.2	振动力场对聚合物熔体黏性的影响	122
6.3.3	振动力场对聚合物熔体弹性的影响	125
6.3.4	振动力场作用下的熔体的本构方程描述	127
6.4	熔体振动对聚合物加工过程的影响	128
6.4.1	振动力场对熔体挤出加工过程的影响	128
6.4.2	振动力场对熔体注射加工过程的影响	129
6.5	结束语	130
	参考文献	130
第 7 章	聚合物电磁动态塑化成型原理及技术	132
7.1	概述	132
7.1.1	挤出成型加工技术及挤出机的发展	132
7.1.2	注射成型技术及注射机的发展	134
7.2	聚合物塑化挤出新概念	135
7.2.1	挤出机直接电磁换能及结构集成化	135
7.2.2	聚合物动态塑化挤出过程概念	136
7.3	振动力场作用下聚合物塑化挤出成型原理	136
7.3.1	振动力场对固体物料输送段的影响	136
7.3.2	振动力场作用下聚合物熔融塑化	137
7.3.3	振动力场强化聚合物熔体输送挤出过程	137
7.4	塑料电磁动态塑化挤出机及其应用	139
7.4.1	结构及技术特点	139
7.4.2	主要技术特性试验结果	139
7.4.3	挤出制品特性研究	140
7.5	振动力场强化聚合物塑化注射成型技术	142
7.5.1	聚合物动态塑化注射成型概念	142
7.5.2	塑料电磁动态塑化注射机及其技术特征	143

7.5.3 振动场强化塑料注射成型制品的性能	144
参考文献	145
第8章 气辅注塑成型原理及技术	146
8.1 概述	146
8.2 气体辅助注塑成型原理	146
8.2.1 基本工艺过程	146
8.2.2 气体发生与控制设备	146
8.2.3 气体控制和注入技术	147
8.2.4 加工控制基本参数	148
8.3 计算机辅助工程(CAE)在气辅中的应用	149
8.3.1 气辅注塑中 CAE 应用的意义	149
8.3.2 典型 CAE 软件的数学表达	150
8.3.3 CAE 分析	150
8.4 气辅注塑成型应用	151
8.4.1 厚壁、偏壁及管棒状制件	151
8.4.2 平板状制件	151
8.4.3 产品缺陷诊断与排除	154
8.5 模具设计制造和产品设计准则	156
8.5.1 模具设计与制造技术	156
8.5.2 产品设计准则	157
8.6 展望	160
参考文献	160
第9章 聚合物吹塑成型原理及技术	162
9.1 概述	162
9.2 中空吹塑成型原理	163
9.2.1 中空吹塑成型过程及原理	163
9.2.2 中空吹塑成型中的流变学问题	164
9.3 吹塑成型技术	170
9.3.1 吹塑成型的主要方法	170
9.3.2 吹塑成型的设备	171
9.3.3 吹塑成型模具	173
9.3.4 吹塑成型中的型坯壁厚控制	176
9.3.5 吹塑成型用聚合物的选择	178
9.4 吹塑成型的工业应用	179
9.5 展望吹塑成型	180
参考文献	180
第10章 反应加工	184
10.1 反应加工的基础知识	184

10.1.1	反应加工技术的形成背景	184
10.1.2	反应加工技术分类	186
10.2	反应挤出用于高分子改性	190
10.2.1	高分子可控降解的反应挤出	191
10.2.2	高聚物的接枝聚合反应	192
10.2.3	高分子合金	195
10.3	聚合反应挤出技术	200
10.3.1	聚合反应挤出技术实施的前提	200
10.3.2	缩合聚合反应	201
10.3.3	开环聚合反应	204
10.3.4	双键聚合反应	207
10.4	反应挤出聚合的控制原理	216
10.4.1	数学模拟	216
10.4.2	反应动力学模型	217
10.4.3	停留时间分布的模型	218
10.4.4	流动模型	219
10.4.5	黏度模型	220
10.4.6	传热模型	220
10.5	结束语	221
	参考文献	222
第 11 章	聚合物的凝胶纺丝原理与技术	225
11.1	前言	225
11.1.1	凝胶纺丝技术的由来及基本特征	225
11.1.2	凝胶纺丝技术发展概况	226
11.2	凝胶纺丝的基本原理	229
11.2.1	纤维高强化的理论计算及理想结构模型	229
11.2.2	常规纤维结构与理想结构模型的差距	229
11.2.3	凝胶纺丝成品纤维结构及其形成的机理	231
11.3	凝胶纺丝用主要设备特征	236
11.3.1	双螺杆纺丝机的结构及作用	236
11.3.2	超倍拉伸机设计的基本原则	236
11.4	展望	237
	参考文献	237
第 12 章	橡胶成型原理及技术	239
12.1	橡胶成型概况	239
12.1.1	橡胶成型	239
12.1.2	橡胶成型的发展趋势	239
12.2	橡胶与配合剂的混炼	241

12.2.1	橡胶在密炼机中的混炼状态	241
12.2.2	橡胶与固体粒子的混炼规律	243
12.2.3	橡胶与油料的混炼规律	245
12.2.4	密炼机橡胶混炼过程的功率控制	245
12.2.5	密炼机橡胶混炼过程功率曲线	247
12.3	混炼胶质量的预测与控制	251
12.3.1	混炼胶黏度的预测	252
12.3.2	混炼胶分散度的预测	258
12.3.3	混炼胶质量的控制	260
参考文献		261
第 13 章 聚合物成型过程中的形态控制技术		263
13.1	纤维增强复合材料的结构控制	263
13.1.1	剪切控制取向挤出成型	263
13.1.2	旋转挤出成型	263
13.1.3	扩管口模共挤出成型	264
13.1.4	剪切控制取向注射成型	265
13.2	用形态控制技术实现聚合物材料自增强	265
13.2.1	固相形变法	266
13.2.2	流体相加工方法	272
13.3	通过剪切作用下的液-液相分离控制共混物的形态	281
参考文献		284
第 14 章 聚合物复杂流体研究的数学方法		286
14.1	控制方程	286
14.2	本构方程	286
14.2.1	Oldroyd-B(OB)流体	287
14.2.2	Phan Thien-Tanner(PTT)流体	287
14.2.3	FENE、FENE-P 和 FENE-CR 流体	287
14.3	聚物流体流动问题的数值方法	289
14.3.1	有限差分方法	289
14.3.2	边界元方法	289
14.3.3	有限体积方法	289
14.3.4	有限元方法	290
14.4	Lagrange-Euler(LE)方法	292
14.4.1	流场内网格的剖分方法	295
14.4.2	LE 核心算法	295
14.4.3	计算结果与实际流动问题的比较	298
参考文献		299
第 15 章 聚合物模压成型加工的计算模拟		301

15.1	聚合物模压成型加工计算模拟的一般方法	301
15.2	聚合物模压成型过程的数学建模	302
15.2.1	流变学模型	302
15.2.2	化学流变学模型	303
15.2.3	反应动力学模型	304
15.2.4	脱气模型	305
15.2.5	压实模型	306
15.2.6	其他一些材料行为模型	307
15.3	有限元数值方法在模压成型加工模拟中的应用	307
15.4	纤维增强热塑性聚酰亚胺反应模压成型中脱气过程的模拟	310
15.4.1	缩聚脱气过程的数学建模	311
15.4.2	缩聚脱气模型的有限元求解	313
15.4.3	缩聚脱气条件的优化	314
	参考文献	316
	作者通讯录	319