国际制造业先进技术译丛

生物降解聚合物及其在工农业中的应用



Biodegradable polymers for industrial applications

(美) Ray Smith 编著
戈进杰 王国伟 译

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

国际制造业先进技术译丛

生物降解聚合物及其在工农业中的应用

Biodegradable polymers for industrial applications

（美）Ray Smith　编著
戈进杰　王国伟　译

机 械 工 业 出 版 社

本书主要介绍生物降解聚合物及其在工农业中的应用。第一部分主要介绍生物降解聚合物的分类和发展，包括生物合成的聚羟基烷酸酯、脂肪聚酯、淀粉基聚合物，以及改性聚烯烃和化学合成聚酯酰胺；第二部分主要介绍生物降解聚合物的生产原料，包括多糖、天然纤维素、可再生林产资源、蛋白质和乳酸等天然原料；第三部分对生物降解聚合物材料的性能和降解机理分别进行介绍，包括生物降解材料的相关标准规定和生物降解能力的评估方法，各种材料生物降解的方式和机理等；第四部分主要介绍生物降解聚合物的工农业应用，包括在包装、农业生产等领域中的应用、后处理以及环境影响评估的方法等。

合同登记号：01-2008-3266

Original English language edition published by Woodhead Publishing Ltd.
Copyright © 2005 Woodhead Publishing Limited.
All Rights Reserved Woodhead Publishing Limited.

本书中文简体翻译版由机械工业出版社独家出版，并在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

图书在版编目（CIP）数据

生物降解聚合物及其在工农业中的应用/（美）史密斯（Smith，R.）编著；戈进杰，王国伟译. —北京：机械工业出版社，2010.5
（国际制造业先进技术译丛）
ISBN 978-7-111-30578-1

Ⅰ.①生… Ⅱ.①史…②戈…③王… Ⅲ.①生物降解—聚合物—应用—工业 ②生物降解—聚合物—应用—农业 Ⅳ.①X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 082750 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：赵晓峰 责任编辑：曲彩云
版式设计：霍永明 责任校对：陈延翔
封面设计：鞠 杨 责任印制：
印刷厂印刷
2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm · 26 印张 · 549 千字
0001— 册
标准书号：ISBN 978-7-111-30578-1
定价：86.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务 策划编辑：（010）88379782
社服务中心：（010）88361066 网络服务
销 售 一 部：（010）68326294 门户网：http：//www.cmpbook.com
销 售 二 部：（010）88379649 教材网：http：//www.cmpedu.com
读者服务部：（010）68993821 **封面无防伪标均为盗版**

译丛序言

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是20世纪80年代提出的，由机械制造技术发展而来。通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化的机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及到机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术具有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械装备、电子通信设备、仪器等；
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等；
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方面发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式上主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来，国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用。制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到，我国制造业与工业发达国家相比，仍存在较大差距。因此必须加强原始创新，在实践中继承和创新，学习国外的先进制造技术和经验，提高自主创新能力，形成自己的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史，可以追溯到唐朝甚至更远一些，唐玄奘去印度取经可以说是一段典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流载体，早在20世纪初期，我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》，其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》，对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体，图书是一个海洋，虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段，但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性，看书总比在计算机上看资料更方便，不同层次的要求可以参考不同层次的图书，不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书，同时它具有比较长期的参考价值和收藏价值。当然，技术图书的交流具有时间上的滞后性，不够及时，翻译的质量也是个关键问题，需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者作出贡献，为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源，翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作，从而能够提升我国制造业的自主创新能力，引导和推进科研与实践水平不断进步。

三、选择严谨质高面广

1）精品重点高质　本套丛书作为我社的精品重点书，在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量，力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2）专家选择把关　本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担，充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3）引纳地区广泛　主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书，组成一套《国际制造业先进技术译丛》。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4）内容先进丰富　在内容上应具有先进性、经典性、广泛性，应能代表相关专业的技术前沿，对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业，例如机械、材料、能源等，既包括对传统技术的改进，又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5）读者层次面广　面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员，高等院校的教师和学生，可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版《国际制造业先进技术译丛》的专家学者，积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

本套丛书希望能对广大读者的工作提供切实的帮助，欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

译者前言

随着人类环境意识的提高，生物降解聚合物取代传统石油基聚合物已经成为发展的主要趋势。但是，目前的生物降解聚合物材料性能较低且成本高昂，这就使得人们在很大程度上还不能够接受，同时也说明人们对于生物降解聚合物的研究还远远不够。从生物降解聚合物材料的开发到广泛使用，通常需要相当长的时间去探索相关的理论基础和生产技术，并形成参考著作供人类共享。目前关于生物降解聚合物的著作也非常有限，同时也显得更为珍贵。

本书由 Ray Smith 编著，由来自世界各地的相关研究者进行综述，主要讨论了目前已经研发的生物降解聚合物及其在工农业中的应用。第一部分主要介绍生物降解聚合物的分类和发展，包括生物合成的聚羟基烷酸酯、脂肪聚酯、淀粉基聚合物，以及改性聚烯烃和化学合成聚酯酰胺；第二部分主要介绍合成生物降解聚合物的产品原料，包括多糖、天然纤维素、可再生林产资源、蛋白质和乳酸等天然原料；第三部分对生物降解聚合物材料的性能和降解机理分别进行介绍，包括生物降解材料的相关标准规定和生物降解能力的评估方法，各种材料生物降解的方式和机理等；第四部分主要介绍生物降解聚合物的工业应用，包括在包装、农业生产等领域中的应用、后处理以及环境影响评估的方法等。

本书所介绍的内容主要为生物降解聚合物发展各个方向的前沿进展，因而具有很高的参考价值。我国是一个原料来源和材料制造大国，就更有必要关注环境问题并推广生物降解聚合物材料的使用。在国内，复旦大学留日博士戈进杰曾经于 2002 年编著了《生物降解高分子材料及其应用》一书，对生物降解聚合物的基础知识和应用技术作了详细介绍。为了跟踪国内外的最新进展，丰富国内关于生物降解高分子材料方面的参考著作，并进一步促进国内对于生物降解聚合物的研究和应用，在戈进杰博士的倡议和指导下，复旦大学高分子系王国伟博士承担和完成了该书的主要翻译工作。本书适合于化工、材料学和物理学等领域的本科生和研究生作为参考书或教材，也可为相关领域的专家参考，同时也适合生物降解聚合物的生产、加工和应用领域的科学技术人员作为参考或者启示读物。

本书在翻译的过程中得到了同事和家属的长期支持，在此表示致谢！由于译者水平有限，书中翻译不当之处在所难免，敬请读者不吝赐教！

译　者

目　　录

译丛序言
译者前言

第一部分　生物降解聚合物的分类和发展

第 1 章　生物降解聚合物材料的分类 …… 2
1.1　前言 …… 2
1.2　天然生物降解聚合物 …… 3
1.2.1　多糖聚合物 …… 3
1.2.2　蛋白质 …… 9
1.2.3　脂质 …… 10
1.2.4　微生物合成聚酯 …… 11
1.2.5　生物衍生单体合成聚酯 …… 12
1.2.6　混合天然聚合物材料 …… 14
1.3　源于石油化工原料制备的生物降解聚合物 …… 14
1.3.1　脂肪聚酯 …… 15
1.3.2　芳香聚酯 …… 17
1.3.3　聚乙烯醇 …… 18
1.3.4　改性聚烯烃 …… 18
1.4　总结 …… 19
1.5　参考文献 …… 20
第 2 章　聚羟基烷酸酯 …… 23
2.1　前言 …… 23
2.1.1　聚羟基烷酸酯的结构 …… 23
2.1.2　聚羟基烷酸酯生产细菌的筛选 …… 25
2.1.3　聚羟基烷酸酯的生物降解性能 …… 27
2.2　聚羟基烷酸酯的力学性能和热性能 …… 27
2.2.1　聚羟基烷酸酯的力学性能 …… 28
2.2.2　二维傅里叶变换红外校正光谱在 PHA 研究中的应用 …… 29
2.2.3　聚羟基烷酸酯的熔融和结晶过程 …… 29
2.3　微生物聚羟基烷酸酯的生产工艺和规模 …… 30
2.3.1　微生物聚羟基烷丁酸酯（PHB）和聚羟基丁酸酯共羟基戊酸酯（PHBV）的生产 …… 30

2.3.2 微生物聚羟基丁酸酯共羟基己酸酯（PHBHHx）的生产 …… 32
2.3.3 微生物中等链长度的聚羟基烷酸酯（mclPHA）的生产 …… 34
2.4 聚羟基烷酸酯的应用 …… 34
2.4.1 生物降解包装材料 …… 34
2.4.2 生物植入材料 …… 35
2.5 聚羟基烷酸酯的前景展望 …… 36
2.6 参考文献 …… 36
第3章 氧化生物降解聚烯烃 …… 42
3.1 前言 …… 42
3.1.1 氧化生物降解塑料的特征描述 …… 42
3.1.2 氧化生物降解聚烯烃塑料的定义 …… 42
3.2 聚烯烃的过氧化反应 …… 43
3.2.1 基元化学反应 …… 43
3.2.2 化学添加剂 …… 44
3.3 聚烯烃使用寿命的控制 …… 45
3.3.1 长期使用寿命控制 …… 45
3.3.2 短期使用寿命控制 …… 45
3.4 聚烯烃的氧化降解 …… 46
3.5 聚烯烃的需氧生物降解 …… 48
3.6 氧化生物降解聚烯烃的应用 …… 48
3.6.1 含酮共聚物 …… 49
3.6.2 Scott/Gilead 技术 …… 49
3.6.3 EPI 技术 …… 50
3.7 聚烯烃材料的环境影响 …… 50
3.7.1 掩埋处理 …… 50
3.7.2 堆肥处理 …… 51
3.7.3 丢弃处理 …… 52
3.8 氧化生物降解聚烯烃的前景展望 …… 53
3.8.1 聚丙烯（PP）和聚苯乙烯（PS）塑料的应用 …… 53
3.8.2 厌氧环境中的生物降解 …… 54
3.9 参考文献 …… 54
第4章 开环聚合合成脂肪聚酯的最新进展 …… 57
4.1 前言 …… 57
4.2 开环聚合合成脂肪聚酯 …… 57
4.2.1 脂肪聚酯 …… 57
4.2.2 逐步聚合合成脂肪聚酯 …… 58
4.2.3 开环聚合合成脂肪聚酯 …… 58
4.3 反应型挤出工艺 …… 63

4.4　超临界二氧化碳介质中的内酯和交酯的开环聚合以及脂肪聚酯的加工 …… 66
4.4.1　内酯或交酯在超临界二氧化碳中的开环聚合 …… 66
4.4.2　超临界二氧化碳中脂肪聚酯的加工工艺 …… 70
4.5　脂肪聚酯的前景展望 …… 72
4.6　参考文献 …… 73
第 5 章　生物降解聚酯酰胺 …… 78
5.1　前言 …… 78
5.2　聚酯酰胺的合成 …… 78
5.2.1　单体的合成 …… 78
5.2.2　聚合物的合成 …… 80
5.2.3　聚合物的降解过程 …… 88
5.3　聚酯肽 …… 91
5.3.1　单体的合成 …… 92
5.3.2　聚合物的合成 …… 93
5.3.3　聚合物的降解过程 …… 97
5.4　总结 …… 98
5.5　附加信息 …… 98
5.6　参考文献 …… 98
第 6 章　热塑性淀粉生物降解聚合物 …… 105
6.1　前言 …… 105
6.2　淀粉的性能 …… 107
6.2.1　淀粉的种类 …… 107
6.2.2　淀粉颗粒的多样性 …… 108
6.2.3　淀粉的大分子结构 …… 108
6.2.4　淀粉的结晶性 …… 109
6.2.5　淀粉的织态结构 …… 110
6.3　热塑性淀粉及其共混物 …… 111
6.4　改性热塑性淀粉聚合物 …… 114
6.5　热塑性淀粉聚合物的商业化产品 …… 115
6.6　超越传统聚合物应用领域的热塑性淀粉聚合物 …… 116
6.7　热塑性淀粉聚合物的前景展望 …… 117
6.8　附加信息 …… 117
6.9　参考文献 …… 118

第二部分　生物降解聚合物的生产原料

第 7 章　多糖生物降解聚合物 …… 124
7.1　前言 …… 124
7.2　由单糖和二糖制备的生物降解聚合物 …… 125

7.2.1 简介 …… 125
7.2.2 生物降解商业塑料 …… 127
7.3 由合成多糖制备的生物降解聚合物 …… 130
7.3.1 简介 …… 130
7.3.2 合成多糖的应用 …… 132
7.4 来源于天然多糖的生物降解聚合物 …… 133
7.5 由半纤维素制备的生物降解聚合物的前景展望 …… 135
7.6 参考文献 …… 138
第 8 章 天然纤维增强生物降解聚合物复合材料 …… 143
8.1 前言 …… 143
8.2 聚合物增强用天然纤维 …… 144
8.3 天然纤维增强聚羟基烷酸酯复合材料 …… 144
8.3.1 天然纤维增强聚羟基烷酸酯复合材料的力学性能 …… 145
8.3.2 天然纤维增强聚羟基烷酸酯复合材料的生物降解性能 …… 148
8.3.3 天然纤维增强聚羟基烷酸酯复合材料的加工工艺 …… 148
8.3.4 天然纤维增强聚羟基烷酸酯复合材料的其他性能 …… 149
8.4 天然纤维增强聚乳酸复合材料 …… 149
8.4.1 天然纤维增强聚乳酸复合材料的力学性能 …… 150
8.4.2 天然纤维增强聚乳酸复合材料的生物降解性能 …… 151
8.4.3 天然纤维增强聚乳酸复合材料的加工工艺 …… 151
8.4.4 天然纤维增强聚乳酸复合材料的其他性能 …… 152
8.5 天然纤维增强淀粉复合材料 …… 152
8.5.1 天然纤维增强淀粉复合材料的力学性能 …… 153
8.5.2 天然纤维增强淀粉复合材料的生物降解性能 …… 155
8.5.3 天然纤维增强淀粉复合材料的加工工艺 …… 156
8.5.4 天然纤维增强淀粉复合材料的其他性能 …… 156
8.6 天然纤维增强豆脂复合材料 …… 156
8.7 天然纤维与合成生物降解聚合物结合制备的复合材料 …… 157
8.8 天然纤维增强生物降解聚合物复合材料的商业化前景展望 …… 158
8.9 总结 …… 159
8.10 附加信息 …… 159
8.11 参考文献 …… 160
第 9 章 基于可再生林产资源的生物降解聚合物 …… 164
9.1 可再生和增值工业原料木质纤维素生物群制备生物降解聚合物 …… 164
9.1.1 林产生物群——未被充分利用的大量可再生资源 …… 164
9.1.2 石油基聚合物的绿色取代物 …… 166
9.2 纤维素生物降解聚合物合成中的平台化学物质 …… 166
9.2.1 纤维素的结构及其衍生物 …… 166
9.2.2 纤维素聚合物的生物降解性能 …… 167

9.3　半纤维素生物降解聚合物原料及其应用 …… 168
9.3.1　木质林产物中半纤维素成分的组成 …… 168
9.3.2　半纤维素发酵前的预处理 …… 170
9.3.3　微生物法合成生物降解聚羟基烷酸酯的研究历史 …… 172
9.3.4　聚羟基烷酸酯的物理性能与化学性能 …… 173
9.3.5　聚羟基烷酸酯的生物降解性能 …… 174
9.3.6　基于林产原料的聚羟基烷酸酯的研究历史与经济价值 …… 175
9.3.7　基于林产资源的微生物合成聚羟基烷酸酯 …… 176
9.4　补充材料 …… 181
9.4.1　文献和综述资料 …… 181
9.4.2　聚羟基烷酸酯和林产资源相关的网站和链接 …… 182
9.4.3　基于可再生基质的聚羟基烷酸酯聚合物产品的其他问题 …… 182
9.5　总结 …… 183
9.6　参考文献 …… 183
第 10 章　聚乳酸生物降解塑料 …… 188
10.1　前言 …… 188
10.2　聚乳酸的性能 …… 189
10.2.1　聚乳酸的流变性能 …… 189
10.2.2　聚乳酸的热性能 …… 191
10.2.3　聚乳酸的力学性能 …… 194
10.3　基于聚乳酸的混合物 …… 196
10.3.1　聚乳酸与其他聚合物的混溶性 …… 196
10.3.2　聚乳酸的填料 …… 198
10.3.3　聚乳酸与淀粉的共混物 …… 199
10.4　聚乳酸生物塑料的塑化 …… 203
10.5　聚乳酸的老化和生物降解过程 …… 207
10.6　聚乳酸生物降解塑料的应用 …… 211
10.7　参考文献 …… 212
第 11 章　生物降解蛋白质纳米颗粒复合材料 …… 219
11.1　前言 …… 219
11.1.1　天然生物降解聚合物 …… 219
11.1.2　纳米复合材料 …… 220
11.1.3　生物降解纳米复合材料 …… 221
11.2　粘土的超声分层 …… 222
11.3　蛋白质纳米复合粒子的挤出加工工艺 …… 225
11.4　蛋白质纳米复合粒子的微观结构和力学性能 …… 226
11.5　总结 …… 231
11.6　参考文献 …… 232

第三部分 生物降解聚合物材料的性能和降解机理

第 12 章 环境友好性生物降解塑料的标准规定 …… 236
12.1 标准的重要性 …… 236
12.1.1 光化学不稳定性（光降解性）聚合物 …… 236
12.1.2 增强氧化性聚合物 …… 237
12.1.3 淀粉填充聚乙烯复合材料 …… 237
12.1.4 标准与规定 …… 238
12.2 生物聚合物 …… 238
12.3 塑料的回收利用 …… 239
12.3.1 回收标准 …… 239
12.3.2 生物活性环境中的回收利用 …… 239
12.4 聚合物的生物降解机理 …… 240
12.4.1 水合生物降解 …… 241
12.4.2 氧化生物降解 …… 241
12.5 实验室研究 …… 243
12.6 生物降解塑料的相关标准与规定 …… 243
12.6.1 相关标准 …… 243
12.6.2 矿化测试工艺 …… 246
12.6.3 生物降解塑料在土壤中的降解 …… 247
12.6.4 模拟风化工艺 …… 247
12.6.5 氧化塑料在土壤中的矿化 …… 247
12.7 生物降解材料的过去与未来 …… 248
12.8 参考文献 …… 250
第 13 章 生物降解聚合物的材料性能 …… 254
13.1 前言 …… 254
13.2 生物降解过程 …… 254
13.3 天然聚合物 …… 257
13.4 微生物聚酯 …… 258
13.5 合成聚酯 …… 259
13.6 聚乳酸 …… 260
13.7 聚羟基乙酸 …… 260
13.8 聚己内酯 …… 261
13.9 聚琥珀酸酯 …… 261
13.10 脂肪-芳香共聚酯 …… 261
13.11 聚原酸酯 …… 262
13.12 聚酸酐 …… 262
13.13 聚碳酸酯和聚亚胺碳酸酯 …… 262

13.14　共混物 …… 263
13.15　水溶性聚合物 …… 263
13.16　生物降解聚合物未来的发展趋势 …… 264
13.17　参考文献 …… 266
第 14 章　生物降解机理 …… 270
14.1　前言 …… 270
14.2　生物降解机理 …… 271
14.2.1　聚合物链的断裂 …… 272
14.2.2　塑料的降解位点 …… 272
14.2.3　水解降解机理 …… 272
14.2.4　混合降解机理 …… 273
14.3　天然聚合物的生物降解机理 …… 273
14.3.1　天然橡胶和反式聚 1,4 异戊二烯 …… 273
14.3.2　木质素 …… 274
14.3.3　煤炭 …… 275
14.4　聚酯的生物降解机理 …… 276
14.4.1　化学合成脂肪聚酯的生物降解 …… 276
14.4.2　聚乳酸和聚乙醇酸 …… 278
14.4.3　生物合成聚酯的生物降解 …… 279
14.5　聚碳酸酯和聚醚的生物降解机理 …… 281
14.5.1　聚碳酸酯 …… 281
14.5.2　聚乙二醇 …… 282
14.5.3　聚丙二醇 …… 284
14.6　聚乙烯醇的生物降解机理 …… 284
14.6.1　聚乙烯醇的生物降解 …… 284
14.6.2　聚乙烯醇的生物降解机理及降解酶 …… 285
14.6.3　聚乙烯醇脱氢酶和缩醛酶作用下的酶促降解 …… 286
14.6.4　基于自由基正离子中间物的聚乙烯醇降解过程 …… 287
14.6.5　聚合物的结构和生物降解过程 …… 287
14.6.6　聚乙烯醇共聚物及其衍生物 …… 287
14.6.7　基于乙烯醇嵌段的生物降解聚合物的设计 …… 288
14.7　聚氨酯的生物降解机理 …… 289
14.7.1　聚氨酯的微生物降解 …… 289
14.7.2　聚氨酯的酶促降解 …… 289
14.8　聚氨基酸的生物降解机理 …… 291
14.8.1　尼龙 …… 291
14.8.2　聚(ε-L-赖氨酸) …… 292
14.8.3　聚(γ-谷氨酸) …… 292
14.8.4　藻青素 …… 293

14.8.5 聚天门冬氨酸 …… 293
14.9 杂链聚合物的生物降解机理 …… 294
14.9.1 聚烯烃 …… 294
14.9.2 聚丙烯酸酯和聚氰基丙烯酸酯 …… 295
14.9.3 聚二噁烷酮 …… 296
14.9.4 聚原酸酯 …… 297
14.9.5 聚缩醛 …… 297
14.9.6 聚酸酐 …… 297
14.9.7 聚磷腈 …… 297
14.10 未来的研究趋势 …… 298
14.11 延伸阅读 …… 298
14.12 参考文献 …… 299
第 15 章 聚合物的酶促降解 …… 316
15.1 前言 …… 316
15.2 烯烃类聚合物 …… 318
15.2.1 聚乙烯 …… 318
15.2.2 聚丙烯 …… 319
15.2.3 聚乙烯醇和聚醋酸乙烯酯 …… 320
15.2.4 聚丙烯酸酯 …… 320
15.2.5 聚醚 …… 320
15.2.6 聚酰胺 …… 321
15.2.7 聚氨酯和聚脲 …… 321
15.2.8 聚酸酐 …… 322
15.3 可水解性聚合物 …… 322
15.3.1 聚乙醇酸 …… 323
15.3.2 聚乳酸 …… 323
15.3.3 聚羟基丁酸酯 …… 323
15.3.4 聚己内酯 …… 324
15.3.5 芳香-脂肪聚酯 …… 325
15.4 天然生物降解聚合物 …… 325
15.4.1 多糖 …… 325
15.4.2 纤维素 …… 326
15.4.3 甲壳质 …… 326
15.4.4 淀粉 …… 327
15.4.5 半纤维素 …… 327
15.4.6 木质素 …… 328
15.4.7 多肽 …… 328
15.5 总结 …… 328
15.6 参考文献 …… 329

第四部分　生物降解聚合物的工农业应用

第 16 章　包装材料用氧化生物降解聚烯烃 …… 336
16.1　前言 …… 336
16.2　包装塑料的特征 …… 337
16.3　氧化生物降解聚烯烃 …… 338
16.3.1　生物降解聚烯烃的性能 …… 338
16.3.2　生物降解聚烯烃的生产成本 …… 340
16.3.3　生物降解聚烯烃的安全性 …… 340
16.4　生物降解聚烯烃的后处理过程 …… 341
16.4.1　生物降解聚烯烃的掩埋处理 …… 341
16.4.2　生物降解聚烯烃的抛弃处理 …… 342
16.4.3　生物降解聚烯烃的堆肥处理 …… 342
16.5　生物降解聚烯烃的回收利用 …… 343
16.5.1　生物降解聚烯烃的循环利用 …… 343
16.5.2　生物降解聚烯烃的焚烧利用 …… 343
16.6　生物降解聚烯烃的环境影响 …… 344
16.6.1　Scott/Gilead 产品 …… 344
16.6.2　EPI 产品 …… 344
16.7　参考文献 …… 344
第 17 章　农业应用中的生物降解塑料 …… 346
17.1　农用塑料栽培 …… 346
17.1.1　农用保护薄膜 …… 346
17.1.2　农用保护薄膜的降解时间控制 …… 351
17.1.3　农业和园艺业的副产品 …… 353
17.2　环境中聚烯烃的氧化生物降解过程 …… 356
17.2.1　过氧化作用过程及其控制 …… 356
17.2.2　抗氧化剂和稳定剂 …… 356
17.2.3　生物降解过程 …… 357
17.3　生物降解塑料对环境的影响 …… 358
17.3.1　普遍观点 …… 358
17.3.2　科学依据 …… 358
17.3.3　生物降解聚乙烯的生态毒性 …… 359
17.4　农用保护薄膜未来的发展趋势 …… 360
17.5　致谢 …… 361
17.6　参考文献 …… 361
第 18 章　超临界二氧化碳中合成生物降解聚己内酯泡沫塑料 …… 364
18.1　前言 …… 364

18.2 聚己内酯泡沫塑料的生产 …… 366
18.3 生产条件对泡沫塑料微孔的影响 …… 369
18.3.1 温度对泡沫结构的影响 …… 369
18.3.2 压力对泡沫结构的影响 …… 370
18.3.3 饱和时间对泡沫结构的影响 …… 371
18.3.4 降压速率对泡沫结构的影响 …… 373
18.4 聚己内酯泡沫塑料的结晶度 …… 374
18.5 总结 …… 376
18.6 参考文献 …… 377
第 19 章 生物降解聚合物在农业中的应用 …… 380
19.1 前言 …… 380
19.2 农业应用材料 …… 381
19.2.1 农业中的主要应用 …… 381
19.2.2 现有应用材料的来源 …… 382
19.2.3 应用材料的配方 …… 383
19.2.4 生物降解塑料的生产工艺 …… 384
19.3 农业应用中生物降解材料的特性评估 …… 385
19.3.1 生物降解的相关性质 …… 385
19.3.2 生物降解材料在栽培过程中对植株产率和谷物质量的影响 …… 387
19.3.3 生物降解材料对环境的影响 …… 390
19.4 生物降解塑料的市场化问题 …… 391
19.4.1 市场成本 …… 391
19.4.2 竞争材料 …… 393
19.5 总结 …… 394
19.6 参考信息 …… 395
19.7 参考文献 …… 395