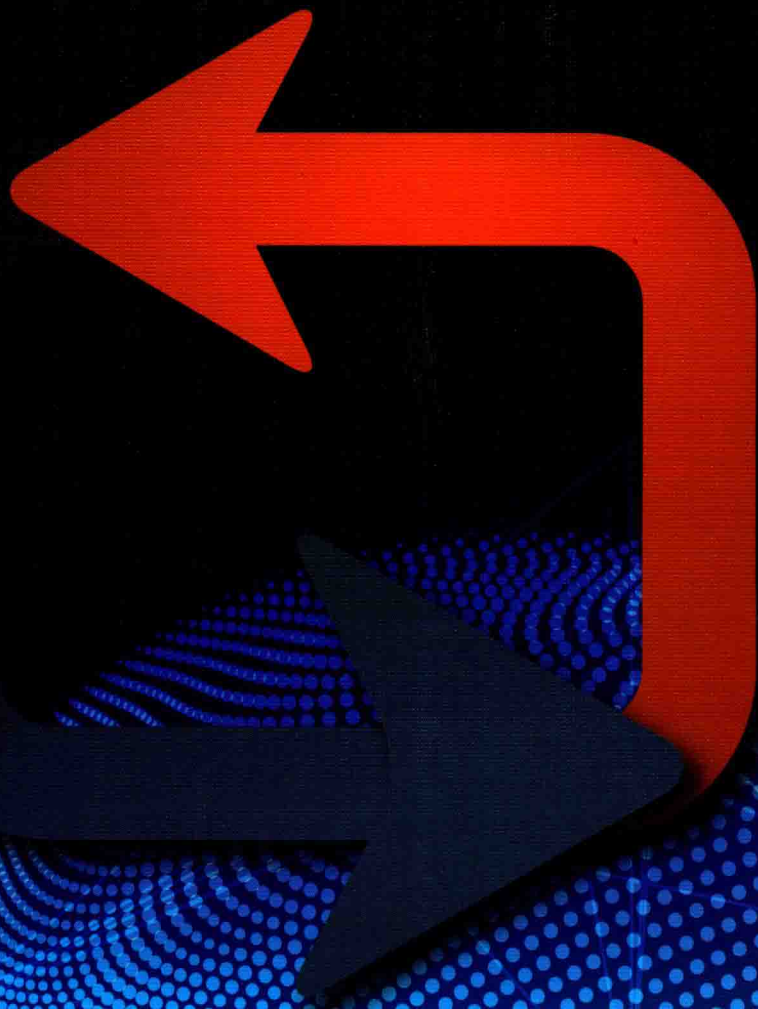


FEIJIU SULIAO ZIYUAN ZONGHE LIYONG

废旧塑料资源 综合利用

刘明华 李小娟 等编著



非外借

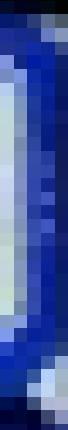


化学工业出版社

中国资源综合利用协会 中国塑料加工工业协会 中国塑料回收利用协会 中国塑料加工工业协会 中国塑料回收利用协会

废旧塑料资源 综合利用

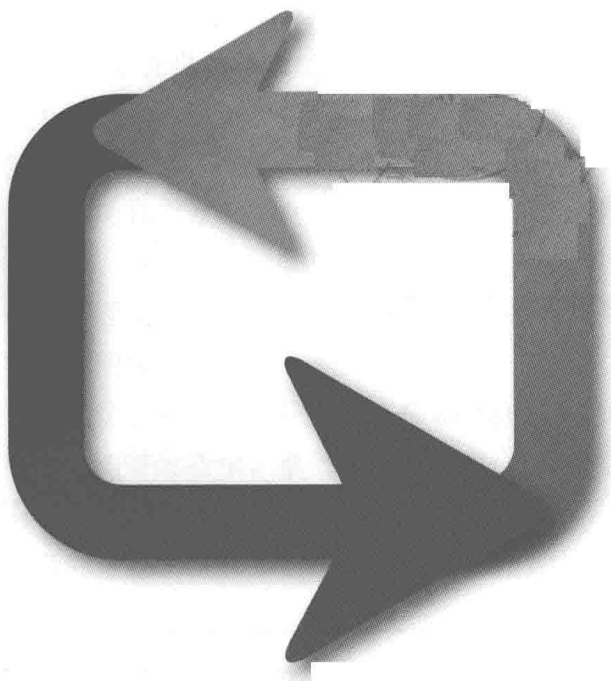
中国资源综合利用协会 中国塑料加工工业协会 中国塑料回收利用协会



FEIJIU SULIAO ZIYUAN ZONGHE LIYONG

废旧塑料资源 综合利用

刘明华 李小娟 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统介绍了废旧塑料资源综合利用的机理及方法。全书共分 12 章，首先总结和阐述了废旧塑料的分类、鉴别、分选、清洗、破碎、造粒、成型加工等方法及工艺设备；然后论述了废旧塑料的回收利用技术；最后详细阐述了各种通用塑料（聚烯烃、聚苯乙烯、聚氯乙烯等）、工程塑料、热固性塑料、泡沫塑料、透明塑料等的回收利用。

本书可供从事废旧塑料循环利用的工程技术人员、科研人员和管理人员使用，也可作为高等学校资源循环科学与工程、环境科学与工程、化学工程及相关专业的研究生、本科生选作教学用书或教学参考书。



图书在版编目 (CIP) 数据

废旧塑料资源综合利用/刘明华等编著. —北京：化学工业出版社，2017.10

ISBN 978-7-122-30316-5

I. ①废… II. ①刘… III. ①塑料垃圾-废物综合利用
IV. ①X783.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 181316 号

责任编辑：刘兴春 卢萌萌

装帧设计：王晓宇

责任校对：宋 玮

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：中煤（北京）印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 391 千字 2018 年 1 月北京第 1 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：78.00 元

版权所有 违者必究

塑料制品自 20 世纪问世以来,具有成本低、质量轻、强度大、防水、耐腐蚀、高绝缘等优良的特性,被广泛应用于各个领域。但由于塑料制品易破损、易老化、难降解,因此废弃物中废旧塑料的含量只增不减,所造成的环境污染日趋严重,废旧塑料的处理成为全球性的问题。常规的填埋法无需从垃圾中分离塑料,从废弃物的收集到处理都十分简单,而且投资少,但塑料无法被生物降解,这样它不仅侵占了大片土地,还对土壤、水、大气等造成“视觉污染”和“潜在危害”。废旧塑料同时蕴含着重要的再生资源,在当今资源紧缺的大环境下,各国对废旧塑料资源的再生利用都非常地重视,投入大量人力、物力乃至立法,开发各种废旧塑料再生利用的关键技术。

废旧塑料资源的再生利用虽然经历了长久的发展,但深入、完整、系统地介绍该方面知识的书籍尚不多见。因此,为了推动废旧塑料资源的循环利用,我们通过查阅历年来的相关研究成果,编著了《废旧塑料资源综合利用》,以供读者参考。

全书共 12 章,首先总结和阐述了废旧塑料的分类、鉴别、分选、清洗、破碎、造粒、成型加工等的方法及工艺设备;然后论述了废旧塑料的再生利用;最后详细阐述了各种通用塑料(聚烯烃、聚苯乙烯、聚氯乙烯等)、工程塑料、热固性塑料、泡沫塑料、透明塑料等的再生利用。本书内容丰富、图文并茂、实用性强,可供从事塑料加工、资源回收和环保领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考,也供高等学校资源循环科学与工程、环境科学与工程、化学工程及相关专业师生参阅。

本书主要由刘明华、李小娟编著,林萍、朱云燕、王玲玲、蔡明亮、刘畅、苏巧权、王晖强、张婵、傅福金、黄映芳、张灵敏等参与部分章节内容的编著。

另外,在本书编著过程中,参考了该领域部分图书、期刊等相关资料,在此向其作者表示衷心的感谢!

限于编著者的专业水平和知识范围,虽已尽努力,但疏漏和不足之处仍在所难免,恳请广大读者和同仁不吝指正。

编著者

2017 年 8 月

第1章 废旧塑料的产生及其危害

1.1 塑料工业的发展	001
1.1.1 塑料的成分	001
1.1.2 塑料的特性	002
1.2 废旧塑料的来源	003
1.2.1 树脂生产中产生的废料	003
1.2.2 成型加工过程中产生的废料	003
1.2.3 配混和再生加工过程中产生的废料	004
1.2.4 二次加工中产生的废料	004
1.2.5 消费后的塑料废料	004
1.2.6 城市生活垃圾中的废旧塑料	004
1.3 废旧塑料的危害	004
1.3.1 对生物体的毒害性	005
1.3.2 对土壤和大气环境的危害	005
1.3.3 浪费大量不可再生资源	006
1.3.4 视觉污染	006
1.4 国内外废旧塑料再生利用概况	006
1.4.1 国外废旧塑料再生利用概况	006
1.4.2 国内废旧塑料回收概况	007
1.5 解决废旧塑料污染的措施	008
1.5.1 技术研发现状	008
1.5.2 政策及综合治理	012
参考文献	013

第2章 废旧塑料的分类与鉴别

2.1 废旧塑料的分类	015
2.1.1 理化特性分类法	015
2.1.2 原材料分类法	016
2.1.3 用途分类法	017
2.1.4 制品分类法	017

2.1.5	来源分类法	017
2.2	废旧塑料的鉴别	017
2.2.1	外观鉴别法	017
2.2.2	密度鉴别法	019
2.2.3	折射率鉴别法	020
2.2.4	静电试验鉴别法	022
2.2.5	溶解鉴别法	022
2.2.6	燃烧鉴别法	022
2.2.7	热裂解鉴别法	023
2.2.8	显色反应鉴别法	024
2.2.9	元素鉴别法	026
2.2.10	仪器分析法	028
2.2.11	塑料薄膜物理性能试验鉴别法	029
2.2.12	塑料的综合鉴别	030
	参考文献	032

第3章 废旧塑料的前期处理

3.1	废旧塑料的收集	033
3.2	废旧塑料的分选与分离	034
3.2.1	手工分选	034
3.2.2	光学分选	035
3.2.3	颜色分选	036
3.2.4	重力分选	036
3.2.5	浮选	040
3.2.6	磁选	041
3.2.7	电选	041
3.2.8	选择性溶解分离	042
3.2.9	温差（低温）分离	043
3.2.10	超临界流体分选	043
3.2.11	其他分选方法	044
3.2.12	废旧塑料与其他物质的分离	045
3.3	废旧塑料的破碎与增密	047
3.3.1	破碎的基本形式	047
3.3.2	破碎设备	048
3.3.3	废旧塑料的增密	054

3.4 废旧塑料的清洗与干燥 054

3.4.1 清洗与干燥方法 054

3.4.2 清洗设备 055

3.4.3 干燥设备 056

3.4.4 清洗剂的组成与选择 058

3.5 混合、塑化与造粒 059

3.5.1 主要助剂 060

3.5.2 混合设备 064

3.5.3 造粒 071

参考文献 073

第4章 废旧塑料成型工艺

4.1 挤出成型 074

4.1.1 挤出机 075

4.1.2 吹膜辅机 077

4.1.3 挤管辅机 080

4.1.4 挤板（片）辅机 084

4.1.5 挤出成型工艺过程 086

4.1.6 挤出成型新技术 086

4.2 注射成型 088

4.2.1 注射成型设备 088

4.2.2 注射成型工艺过程 091

4.2.3 注射成型新技术 093

4.3 压延成型 094

4.3.1 压延成型设备 095

4.3.2 压延成型工艺过程 096

4.4 中空吹塑成型 097

4.4.1 挤出中空吹塑 097

4.4.2 注射吹塑 098

4.4.3 拉伸吹塑 098

4.5 其他成型方法 099

4.5.1 发泡成型 099

4.5.2 浇铸成型 099

4.5.3 热成型 101

4.5.4 模压成型 101

参考文献..... 102

第 5 章 废旧塑料的再生利用

5.1 物理回收 104

5.1.1 熔融再生 105

5.1.2 改性再生 105

5.2 化学回收（油化分解） 117

5.2.1 热分解 117

5.2.2 化学分解 123

5.3 能量回收 125

5.3.1 专用焚烧炉回收 125

5.3.2 高炉喷吹废旧塑料技术 126

5.3.3 水泥回转窑喷吹废旧塑料技术 127

5.3.4 废旧塑料制作垃圾固形燃料 127

参考文献..... 128

第 6 章 废旧聚烯烃塑料的回收与利用

6.1 国内外废旧聚烯烃塑料的再生利用现状 129

6.2 废旧聚烯烃塑料的来源 130

6.3 聚烯烃类塑料的应用现状 130

6.3.1 农用薄膜 130

6.3.2 包装薄膜和容器 131

6.3.3 不同种类聚烯烃塑料的主要应用 131

6.4 废旧聚烯烃塑料的再生利用技术 132

6.4.1 薄膜的回收技术 132

6.4.2 容器的回收技术 135

6.4.3 编织袋、周转箱及其他烯烃用品的回收 136

6.4.4 再生制品的开发和应用 136

参考文献..... 141

第 7 章 废旧聚氯乙烯塑料的回收与利用

7.1 概述 143

7.2 国外废旧聚氯乙烯塑料再生利用现状 144

7.3 废聚氯乙烯塑料的来源 145

7.3.1 工业废料 145

7.3.2 废弃物中的塑料 146

7.3.3 废聚氯乙烯塑料的处理 146

7.4 废聚氯乙烯塑料的焚烧 147

7.5 废聚氯乙烯塑料的再生利用技术 148

7.5.1 废的硬聚氯乙烯塑料制品的再生利用 148

7.5.2 废的软聚氯乙烯塑料制品的再生利用 152

7.5.3 聚氯乙烯增塑糊产品的回收 159

参考文献..... 159

第 8 章 废旧聚苯乙烯塑料的回收与利用

8.1 国内外废旧聚苯乙烯塑料再生利用现状 161

8.2 废旧聚苯乙烯塑料的来源 162

8.3 废旧聚苯乙烯塑料的再生利用技术 163

8.3.1 混合废旧塑料的分离 163

8.3.2 直接再生利用 164

8.3.3 热分解回收苯乙烯和油类 166

8.3.4 制备涂料和黏合剂 169

8.4 国内外废聚苯乙烯塑料再生利用的问题 171

参考文献..... 172

第 9 章 废旧工程塑料的回收与利用

9.1 概述 174

9.1.1 工程塑料的应用 174

9.1.2 废旧工程塑料再生利用现状 174

9.1.3 废旧工程塑料回收与处理方案 175

9.2 废旧工程塑料的来源 175

9.2.1 工业废料 175

9.2.2 消费后的废料 175

9.3 消费后工程塑料的再生利用技术 177

9.3.1 废汽车上塑料件的再生利用技术 177

9.3.2 废旧聚对苯二甲酸乙二酯的再生利用技术 190

9.3.3 废旧 ABS 塑料的再生利用技术 200

9.3.4 废旧聚碳酸酯塑料的再生利用技术 201

9.3.5 废旧聚甲醛塑料的再生利用技术 204

9.3.6 废旧聚酰胺塑料的再生利用技术 205

9.3.7 废旧聚对苯二甲酸丁二酯、聚苯醚及其他废旧工程塑料的再生利用技术	211
9.3.8 废旧混合工程塑料和聚合物合金的再生利用技术	211
参考文献	212

第 10 章 废旧热固性塑料的回收与利用

10.1 废旧热固性塑料的来源	214
10.1.1 聚氨酯	215
10.1.2 酚醛树脂	215
10.1.3 不饱和聚酯	215
10.1.4 环氧树脂	216
10.2 废旧热固性塑料的再生利用技术	216
10.2.1 机械回收	216
10.2.2 化学回收	219
10.2.3 裂解	222
10.2.4 能量回收	223
10.3 废旧热固性塑料的再生利用	224
10.3.1 废旧热固性塑料用作填料	224
10.3.2 废旧热固性塑料生产塑料制品	224
10.3.3 废旧热固性塑料生产活性炭	225
10.3.4 废旧热固性塑料裂解小分子产物	225
10.3.5 废旧热固性塑料降解生产低聚物	226
10.3.6 废旧热固性塑料生产改性高分子	226
参考文献	226

第 11 章 泡沫塑料的回收与利用

11.1 泡沫塑料回收的问题	228
11.1.1 泡沫塑料概况	228
11.1.2 泡沫塑料回收的经济和社会问题	230
11.2 去泡方法	233
11.2.1 机械破泡法	234
11.2.2 熔融破泡法	234
11.3 泡沫塑料的裂解回收	234
11.3.1 裂解制油、气方法	234
11.3.2 油化的工业方法	237

11.4 PVC 泡沫塑料裂解回收 239

11.4.1 HCl 的脱除及利用 239

11.4.2 聚氯乙烯裂解制油、气 240

11.5 PE 泡沫塑料裂解回收 242

11.5.1 废旧 PE 塑料裂解制取燃料油的工艺方法 242

11.5.2 聚乙烯催化裂解机理 243

11.5.3 裂解反应的影响因素 243

参考文献 244

第 12 章 透明塑料的回收与利用

12.1 用 SBS 对 PS 回料的改性及其应用 245

12.1.1 热塑性弹性体的概念 245

12.1.2 热塑性弹性体的结构特征和性能 246

12.1.3 SBS 的基本特性 246

12.1.4 PS 的基本特性 247

12.1.5 SBS 在 PS 回收料中的改性效果 247

12.2 用 SBS 对 AS 回料的改性及其应用 247

12.2.1 AS 的基本特性 247

12.2.2 SBS 在 AS 回收料中的改性效果 247

12.3 聚碳酸酯塑料回料的改性 248

12.3.1 聚碳酸酯的基本特性 248

12.3.2 聚碳酸酯塑料的增强改性 249

12.3.3 聚碳酸酯塑料回料的共混改性 249

12.4 有机玻璃的回收与利用 250

12.4.1 有机玻璃特性 250

12.4.2 有机玻璃再生利用 250

参考文献 251

第 1 章



废旧塑料的产生及其危害

1.1 塑料工业的发展

塑料是一个时代的产物。塑料的发现与发展得益于化学科学与工程的发展,尤其得益于有机高分子科学技术的发展。塑料的出现令人兴奋,它的优良性能和广泛用途促使人们大力发展塑料工业^[1]。从不断开发新品种、连续扩大生产规模、广泛扩展应用范围,直至如今塑料产品琳琅满目,塑料废弃物铺天盖地,以至达到地球环境难于承受而出现“塑料公害”。塑料的发展是科学技术发展的必然结果,而白色污染则源于人们经济发展战略的失误。因此可以说,塑料的发展史便是人类盲目发展经济而引起资源与环境危机的典型范例^[2]。

随着石油化工的不断发展,高分子合成材料将越来越广泛应用于工业、农业、电子、国防、建筑以及日常生活等各个领域^[3]。目前,中国合成树脂产量 2014 年为 $4.764 \times 10^7 \text{ t}$, 2015 年为 $5.326 \times 10^7 \text{ t}$ (其中包括 $1.609 \times 10^7 \text{ t}$ PVC, $1.385 \times 10^7 \text{ t}$ PE, $1.579 \times 10^7 \text{ t}$ PP)^[4]。中国塑料制品随着国外市场需求的变化,不断的进行调整与优化,塑料制品总产量 2013 年为 $6.293 \times 10^7 \text{ t}$, 2014 年、2015 年塑料制品总产量分别为 $7.088 \times 10^7 \text{ t}$ 、 $7.807 \times 10^7 \text{ t}$, 塑料制品总产量居世界第一位^[5]。中国塑料制品近几年出口增长迅速,2012 年出口 $8.51 \times 10^6 \text{ t}$ (315.7 亿美元), 2016 年塑料制品出口达 $1.04 \times 10^7 \text{ t}$ (356.7 亿美元)。中国塑料加工机械进入 21 世纪,年均增长率在 10% 左右,企业已达 1000 多家,产品有混配料设备,注射成型机、挤出生产线、中空成型机、压延生产线等 19 大类,具有 20 万台套以上的塑料机械能力,成为世界塑料机械制造大国。目前中国塑料工业无论是原材料的生产、塑料制品的加工、塑料机械的制造以至塑料的应用都形成了一套较完整的体系,并具备了一批国际先进水平的现代化企业^[6~8]。

塑料工业既是消费工业,又是新型材料工业,是科技含量高、应用广、市场前景好的行业,预计到 2020 年市场增长速度超过 10%,塑料制品总产量将达到 $8.0 \times 10^7 \text{ t}$ ^[4]。

1.1.1 塑料的成分

我们通常所用的塑料并不是一种纯物质,它是由许多材料配制而成的。其中高分子聚合物(或称合成树脂)是塑料的主要成分;此外,为了改进塑料的性能,还要在聚合物中添加

各种助剂，如填料、增塑剂、润滑剂、稳定剂、着色剂等，才能成为性能良好的塑料^[9]。

(1) 合成树脂

合成树脂是塑料最主要的成分，它能够黏结其他成分的材料，赋予塑料可塑性和流动性，含量一般为 40%~100%。由于含量大，而且树脂的性质常常决定了塑料的性质，所以人们常把树脂看成是塑料的同义词，例如将聚氯乙烯树脂与聚氯乙烯塑料、酚醛树脂与酚醛塑料混为一谈。其实树脂与塑料是两个不同的概念，树脂是一种未加工的原始聚合物，它不仅用于制造塑料，而且还是涂料、胶黏剂以及合成纤维的原料。而塑料除了极少一部分含 100% 的树脂外，绝大多数的塑料，除了主要组分树脂外，还需要加入其他物质^[10,11]。

(2) 填料

填料又叫填充剂，它是用于提高塑料的强度和耐热性能，减少树脂用量并降低成本的重要而非必要的成分^[12]。填料的种类多，按化学性能可分为有机填料和无机填料两大类，前者如木粉、碎布、纸张和各种织物纤维等，后者如玻璃纤维、硅藻土、石棉、炭黑等；按形状可分为粉状、纤维状和片状。如果需提高塑料的抗拉强度，可加入各种高强度、耐高温和高模量的纤维及其织物作为填料；如果需要提高强度和耐磨性，可加入一些高硬度的氧化物或碳化物，如氧化铅、氧化硅、氧化钛、碳化硅等。

(3) 增塑剂

增塑剂是指能增加塑料的可加工性、延展性和膨胀性的物质，一般能与树脂相溶，是无毒、无臭，不易挥发，对光、热稳定的高沸点有机化合物。常用的增塑剂是液态或低熔点固体有机物，主要有甲酸酯类、磷酸酯类和氯化石蜡等^[13]。例如，在生产聚氯乙烯塑料时，若加入较多的增塑剂便可得到软质聚氯乙烯塑料，若不加或少加增塑剂（用量<10%），则得硬质聚氯乙烯塑料。

(4) 稳定剂

凡能阻缓塑料制品变质，延长使用寿命的物质称为稳定剂，主要可分为热稳定剂、光稳定剂、抗氧化剂三大类，常用的有硬脂酸盐、环氧树脂等^[14]。

(5) 着色剂

着色剂可使塑料制品具有各种鲜艳、美观的颜色。常用的着色剂分为无机颜料和有机染料^[15]。无机颜料的着色能力、透明性、鲜艳性较差，但耐光性、耐热性、化学稳定性较好，不易褪色；有机染料色彩鲜艳、颜色齐全，着色能力、透明性好，刚好与无机颜料性能相反。

(6) 润滑剂

润滑剂是为防止塑料在成型过程中粘模，减少塑料对模具的摩擦，改善塑料的流动性，提高塑件表面的光泽度而加入的添加剂，常用的有硬脂酸及其钙镁盐等。

除了上述助剂外，塑料中还可加入阻燃剂、发泡剂、防腐剂、抗静电剂等，以满足不同的工艺和使用性能要求^[16]。在实际的应用过程中，并非所有的塑料都要加入全部的添加剂，根据品种和需求有选择地加入几种即可。

1.1.2 塑料的特性

(1) 可塑性

所谓塑料的可塑性就是可以通过加热的方法先使固体塑料软化，然后再放入模具中，让

它冷却后又重新凝固成一定形状的固体。塑料的这种性质也有一定的缺陷，即遇热时容易软化变形，有的塑料甚至用温度较高的水烫一下就会变形，所以塑料制品一般不宜接触沸水^[16]。

(2) 弹性

部分塑料也像合成纤维一样具有一定的弹性。当它受到外力拉伸时，卷曲的分子链就会被拉直，但一旦拉力撤销后它又会恢复到原来的状态，这使得塑料制品具有弹性，例如聚乙烯和聚氯乙烯的薄膜制品。

(3) 较高的强度

塑料虽然不像金属那样坚硬，但与玻璃、陶瓷、木材等相比，还是具有比较高的强度及耐磨性，可以制成机器齿轮和轴承。

(4) 耐腐蚀性

塑料既不像金属那样在潮湿的空气中会生锈，也不像木材那样在潮湿的环境中会腐烂或被微生物侵蚀，另外塑料耐酸碱的腐蚀。因此，塑料常常被用作化工厂的输水和输液管道、建筑物的门窗等。

(5) 绝缘性

塑料的分子链是原子以共价键结合起来的，分子既不能电离也不能传递电子，所以塑料具有良好的绝缘性，可用来制造电线的包皮、电插座、电器的外壳等。

(6) 其他特性

塑料除了具有以上几个主要的特性外，还具有透光和防护，减震和消声等优良性能，拓宽了其应用领域。

1.2 废旧塑料的来源

塑料从树脂合成、成型加工到消费使用，涉及的范围很广，所以其来源也很复杂。一般把合成、加工时产生的塑料废料叫消费前塑料废料或工业生产塑料废料 (Preconsumer or Industrial Plastics Waste)^[17]；而把消费使用后的塑料废弃物称之为消费后塑料废料 (Postconsumer Plastics)。消费前塑料废料产生的量相对较少，易于回收且回收价值大，所以一般其回收工作由生产工厂自己即可完成。我们通常所说的废旧塑料，主要是指消费后塑料，这也是本书的重点。

1.2.1 树脂生产中产生的废料

在树脂生产中产生的废料包括以下 3 个方面：a. 聚合过程中反应釜内壁上刮削下来的贴附料（俗称“锅巴”）以及不合格反应料；b. 配混过程中挤出机的清机废料以及不合格配混料；c. 运输、储存过程中的落地料等。

废料的多少取决于聚合反应的复杂性，制造工序的多少，生产设备及操作的熟练程度等，在各类树脂生产中聚乙烯产生的废料最少，聚氯乙烯产生的废料最多^[18]。

1.2.2 成型加工过程中产生的废料

在塑料的各种成型加工中会产生数量不等的废品和边角料。如注射成型中的流道冷料、

浇口冷固料、清机废料等；挤出成型中的清机废料、修边料和最终产品上的截断料等；吹塑过程中的吹塑机上的截坯口，设备中的冷固料和清机废料以及中空容器的飞边等；压延加工中从混炼机、压延机上掉落的废料、修边料和废制品等；以及滚塑加工中模具分型线上的溢料、去除的边缝料和废品等^[19]。

成型加工中所产生的废料量取决于加工工艺、模具和设备等。一般来说，这种废料品种明确，填料量清楚，污染程度小，性能接近于原始料，预处理工作量小，再生利用率比较高，通常可作为回头料掺入到新料中，对制品的性能和质量影响较小。

1.2.3 配混和再生加工过程中产生的废料

在配混和再生加工过程中产生的废料仅占有所有废旧塑料极小的一部分，它们是在配混设备清机时的废料和不正常运行情况下出的次品，其中大部分为可回收性废旧塑料。

1.2.4 二次加工中产生的废料

二次加工通常是将从成型加工厂购买来的塑料半成品经转印、封口、热成型、机械加工等工序制成成品，这里产生的废料往往要比成型加工厂产生的废料更加难以处理。例如，经印刷、电镀等处理后的废品，要将其印刷层、电镀层去除的难度和成本均很大，而直接粉碎或造粒得到的回收料，其价值则要低得多。经热成型、机械切削加工而产生的废边、废粒，回收再生就比较容易，而且回收料的价值也比较高。

1.2.5 消费后的塑料废料

这类废旧塑料来源广，使用情况复杂，必须经过处理才能回收再用。主要包括：a. 化学工业中使用过的袋、桶等；b. 纺织工业中的容器、废人造纤维丝等；c. 家电行业中的包装材料、泡沫防震垫等；d. 建筑行业中的建材、管材等；e. 罐装工业中的收缩膜、拉伸膜等；f. 食品加工中的周转箱、蛋托等；g. 农业中的地膜、大棚膜、化肥袋等；h. 渔业中的渔网、浮球等；i. 报废车辆上拆卸下来的保险杠、燃油箱、蓄电池箱等。

1.2.6 城市生活垃圾中的废旧塑料

这类废旧塑料也属于消费后塑料，由于其数量大，再生利用困难，已对环境构成严重威胁，是今后回收工作的重点，所以将其单独归类。城市生活垃圾中的废旧塑料约占2%~4%，其中大部分是一次性的包装材料^[20]。它们基本上是聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚对苯二甲酸二醇酯等，在这些废旧塑料中聚烯烃约占70%。

生活垃圾中的废旧塑料制品种类很多，它们包括各种包装制品，如瓶类、膜类、罐类等；日用制品，如桶、盆、杯、盘等；玩具饰物，娱乐用品，服装鞋类，捆扎绳，打包带，编织袋，卫生保健用品等。

1.3 废旧塑料的危害

废旧塑料的危害主要是由散落在农田、市区、风景旅游区、水利设施和道路两侧的废旧塑料，对大气环境、人体健康、土壤水质、资源消耗等方面造成的负面影响^[21]。

1.3.1 对生物体的毒害性

塑料的主体，也就是高分子聚合物，通常是安全无毒的，但几乎所有的塑料制品都添加了一定组分的添加剂，用以改善塑料制品的可塑性和机械强度，从而满足塑料制品的使用性能。例如，在聚氯乙烯（Polyvinyl Chloride, PVC）中，添加邻苯二甲酸酯（Phthalic Acid Esters, 简称 PAEs）的量达到了 35%~50%，随着时间的推移，PAEs 可由塑料迁移到外环境^[22]。过去一直认为 PAEs 毒性低，生产和使用量也在逐年增加，目前全世界年产量高达 200 万吨之多，我国年产量在 21 万~26 万吨左右。研究发现，PAEs 在大气、生物、食品、水体和土壤等介质中容易残留，水解和光解速率缓慢，属于难降解有机污染物。而且 PAEs 具有一般毒性和特殊毒性（如致畸性、致突变性或具有致癌性），在人体和动物体内发挥着类雌性激素的作用，干扰内分泌，尤以造成人体生殖功能异常，男性精子数量的减少而备受关注^[22,23]。

1.3.1.1 对动物的危害

据有关资料显示，塑料废弃物对海洋生物造成的危害是石油溢漏危害性的 4 倍，每年仅丢弃的渔具塑料就在 1.5×10^5 t 以上，各种塑料废品总量近千万吨。废旧塑料对动物的危害主要表现在误食划伤食道，造成胃部溃疡等疾患；有毒的塑料添加剂，如抗氧剂三丁基锡，由于生物富集，会使动物降低食欲，降低类固醇激素水平，导致繁殖率降低，甚至死亡。据估计，每年至少有数百万只海洋动物因误食塑料导致丧生。目前已知至少有 50 种海鸟喜爱吞食塑料球，因为将其误认为鱼卵或鱼的幼虫，海龟也把一些塑料制品当成水母吞食，而海狗喜欢在废塑料渔网中嬉戏玩耍，常被缠绕至死。在陆地，一些反刍类动物（如牛、羊等牲畜）和鸟类因吞食草地上的塑料薄膜碎片，容易在肠胃累积，造成肠梗阻乃至死亡的事例已屡见不鲜，有报道称在北京的一只死亡奶牛的胃中清出 13kg 塑料薄膜。

1.3.1.2 对人体的危害

塑料废弃物的焚烧会产生有害气体，如聚氯乙烯燃烧产生氯化氢气体（HCl），ABS、丙烯腈、聚氨酯燃烧产生氰化物，聚碳酸酯燃烧产生光气等有害气体^[24]。其中氯化物燃烧产生的二噁英等有毒气体不仅能使兽类和鸟类出现畸形和死亡，而且对人体的伤害也是极为严重的，主要表现为肝功能紊乱、生殖系统异常和神经受损，并使癌症的发病率上升等。1992 年丹麦研究人员首先发现，现代人类精子数目在过去 50 年间下降了 50% 以上，在 20 世纪 40 年代男性的平均精子量是 6.0×10^7 个/mL，而现在只有 2.0×10^7 个/mL，减少了 2/3；睾丸癌患病率也增加了 1 倍多。塑料燃烧产生的一些二氧化物还具有“复制”雌激素的功能，使男子体内的雌激素成倍增加，而雌激素增加就意味着一定程度的女性化。

1.3.2 对土壤和大气环境的危害

① 废旧塑料混在土壤中，会影响作物吸收养分和水分，导致作物减产。地膜覆盖技术可以有效增加农作物产量并提高产品质量，大大提高了土地资源的利用率。我国目前已成为农田基本建设覆盖面积最大的国家。但是由于目前我国使用的地膜大多是以聚氯乙烯等为原料的难降解高分子化合物，其制品在自然条件下难以分解。据推算，土壤中的残膜碎片可存在 200~400 年之久，从而破坏土壤原来良好的理化性状，阻碍肥料的均匀分布，影响植物根系生长，从而导致农作物减产。有研究显示，在每公顷土地有残膜 58.5kg 时，农作物减