

王加龙 主编 许昆鹏 主审

FEIJIU SULIAO HUI SHOU LIYONG
SHIYONG JISHU

废旧塑料回收利用 实用技术



化学工业出版社

王加龙 主编 许昆鹏 主审

废旧塑料回收利用 实用技术



化学工业出版社

北京

本书详细阐述了高分子材料的各种降解机理,各种废旧塑料的鉴别和分离基础知识,对废旧塑料回收利用设备做了简要的介绍,对热固性塑料、热塑性塑料、泡沫塑料及透明塑料的回收利用做了较详细的阐述,是一本实用性强的专业技术性读物。

本书对减轻塑料的社会污染有指导性意义,对节能、环保也有重要的指导作用,可供从事塑料行业的专业人士参考阅读,也可作为高等职业技术教育类院校、中专技校有关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

废旧塑料回收利用实用技术/王加龙主编. —北京:
化学工业出版社, 2010.9
ISBN 978-7-122-08970-0

I. 废… II. 王… III. ①塑料-废品回收②塑料-
废物综合利用 IV. X783.25

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第121850号

责任编辑:王苏平

文字编辑:郑直

责任校对:蒋宇

装帧设计:张辉

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:北京市彩桥印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张12 $\frac{3}{4}$ 字数331千字

2010年9月北京第1版第1次印刷

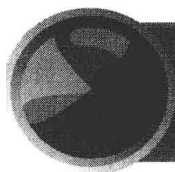
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

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:36.00元

版权所有 违者必究



前言

塑料产品的广泛使用给人们的生产、生活带来革命性的变化，并产生巨大的经济效益和社会效益，但同时，塑料制品的不断老化、废弃、丢弃，对环境的污染也日益严重。塑料的使用周期通常较短，大量的塑料制品特别是包装物使用大约 6~12 个月后便被废弃，40% 的塑料制品在使用 1~2 年后便被废弃，目前世界每年塑料废弃物总量已达到 5000 万吨。因为废塑料丢弃量大，不易降解，难以处理，影响面广，污染严重，被人们称为“白色污染”。

综上所述，一方面，基于塑料废弃物于环境中造成的危害，我们必须重视对废旧塑料的处理和利用；另一方面，塑料工业要持续、高速、和谐发展，就必须正视塑料工业在发展过程中带来的负面影响并重视对废旧塑料进行回收并加以科学的、合理的利用。这样，才可以实现塑料行业的可持续发展。所以，回收利用废旧塑料具有战略性意义。

本书共分八章。当您读完“绪论”后，会对塑料材料在各个领域的应用与塑料材料对社会造成的污染有较全面的认识，对塑料材料对人类的“功”和“过”有深刻的理解，而塑料材料的“过”并不在于塑料材料的本身，而是在于使用塑料材料的人。当您读完第一章后，会对塑料材料的降解理论有一定的理解。了解了塑料材料的降解机理后，就有可能从根本上采取有效措施，抑制和防止塑料材料的降解。当您读完第二章后，会对塑料材料的鉴别和分类有相

当的了解，这是回收和利用废旧塑料的第一步。当您读完第三章后，会对回收利用废旧塑料的机械设备有较全面的了解。当您读完第四章后，会对热固性塑料的回收利用有一定的了解。当您读完第五章后，会对通用热塑性塑料的回收利用有全面深透的理解。当您读完第六章后，会对热塑性通用工程塑料的回收利用有全面深刻的理解。当您读完第七章后，会对废旧泡沫塑料的回收利用，尤其是对其进行裂解，有进一步的认识。当您读完第八章后，会对透明塑料如何回收利用也有一定程度的了解。

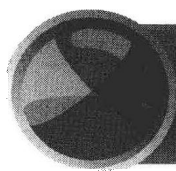
本书由常州轻工职业技术学院的王加龙任主编，并编写了“绪论”；许昆鹏任主审，并编写了第三章中的第二节至第四节和第六章，并与胡友勤合作编写了第三章第一节；金华仁编写了第一章、第四章第一节和第八章；胡友勤编写了第二章，并与许昆鹏合作编写了第三章第一节；马洪霞编写了第四章第二节；朱茂电编写了第四章第三节；张宁编写了第五章；张海宁编写了第七章。

本书可供从事废旧塑料回收的人员，及从事用废旧塑料生产产品的工程技术人员参考。本书也可作为高等职业技术教育类院校、中专技校有关专业师生的参考书。

对于书中可能存在的错误和缺陷，恳请读者批评指正，以帮助我们改进。

王加龙

2010年3月于常州轻工职业技术学院



目 录

绪 论

一、废旧塑料与环境污染	1
二、废旧塑料回收利用价值	6
三、废旧塑料回收利用中的问题	6
四、废旧塑料回收利用与我国塑料工业的可持续发展	8

第一章 塑料的降解与塑料回收料的品种、性能和用途

第一节 塑料材料在加工中的降解	11
一、加工过程中产生热降解的影响因素	11
二、加工过程中的热氧降解	13
第二节 塑料材料在使用过程中的降解	15
一、光降解	15
二、光氧降解	17
三、臭氧降解	22
第三节 通用热塑性树脂的降解	24
第四节 热塑性工程塑料的降解	37

第二章 废旧的塑料鉴别与分类

第一节 直观鉴别法	50
一、由制品的用途初步判断塑料的品种	50

二、人的感官分析判断	51
第二节 物理鉴别法	53
一、密度法	53
二、硬度法	55
三、溶剂法	55
第三节 化学鉴别法	58
一、热解鉴别法	58
二、燃烧鉴别法	60
第四节 仪器鉴别法	63
一、元素鉴别法	64
二、光谱分析法	81
第五节 综合鉴别法	112

第三章 废旧塑料回收利用设备

第一节 废旧塑料的分离及设备	118
一、手工分离法	119
二、磁力分离法	120
三、密度分离法	121
四、空气分离法	123
五、溶剂分离法	123
六、静电分离法	125
七、利用光学识别分离	126
八、低温分离法	127
九、其他分离法	128
第二节 废旧塑料的粉碎设备	129
一、塑料的力学性能特点	130
二、不同粉碎设备的粉碎机理	132
三、废旧塑料尺寸减小设备	135
四、废旧塑料的粗粉碎设备简介	136

五、废旧塑料的细粉碎及超细粉碎设备简介	141
六、粉碎设备的选择原则	146
第三节 废旧塑料造粒设备	148
一、凝结造粒设备	148
二、压缩凝结造粒设备	148
第四节 废旧塑料的塑化与再生设备	149
一、单螺杆挤出机	149
二、双螺杆挤出机	170

第四章 热固性塑料回收利用工艺及配方

第一节 酚醛塑料的回收利用	182
一、酚醛树脂及酚醛塑料的形成	182
二、研磨成粉末作填料使用	184
三、废旧酚醛塑料回收利用配方与工艺举例	185
第二节 不饱和聚酯塑料的回收利用	189
一、回收工艺概述	190
二、化学回收	191
三、物理回收	201
四、能量回收	203
第三节 聚氨酯塑料的回收利用	204
一、回收工艺方法	205
二、化学回收——热裂解工艺	208
三、醇解法	209
四、水蒸气裂解法	215
五、超临界水氧化降解聚氨酯	216
六、热解法	218

第五章 通用热塑性塑料的回收利用

第一节 聚烯烃类塑料应用、回收利用现状	222
---------------------------	-----

一、国内通用热塑性塑料材料循环利用的现状	222
二、聚烯烃类塑料应用现状	223
三、回收利用方法	227
四、再生聚烯烃的性能	233
第二节 聚乙烯塑料的回收利用	234
一、回收聚乙烯的应用	235
二、聚乙烯的回收方法	235
第三节 聚丙烯塑料的回收利用	262
一、聚丙烯的应用	264
二、聚丙烯的回收方法	265
第四节 废旧聚氯乙烯的回收利用	284
一、废旧聚氯乙烯的直接利用	285
二、加工改性再生	294
三、废旧聚氯乙烯的裂解利用	297
四、废旧聚氯乙烯的焚烧	305

第六章 热塑性工程塑料的回收利用

第一节 通用工程塑料的回收利用	306
一、PET 的回收及利用	307
二、PC 的回收利用	321
三、PA 的回收利用	322
四、PMMA 的回收利用	330
五、ABS 的回收及利用	334
六、POM 的回收利用	334
第二节 特种工程塑料的回收利用	336

第七章 泡沫塑料的回收利用

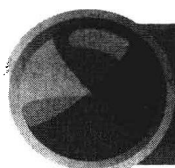
第一节 泡沫塑料回收的问题	338
一、泡沫塑料概况	338

二、泡沫塑料回收的经济和社会问题	339
第二节 去泡方法	341
一、机械破泡法	342
二、熔融破泡法	343
第三节 泡沫塑料的裂解回收	344
一、裂解制油、气方法	344
二、油化的工业方法	349
三、裂解反应机理	355
第四节 PVC 泡沫塑料裂解回收	367
一、HCl 的脱除及利用	367
二、聚氯乙烯裂解制油、气	370
第五节 PE 泡沫塑料裂解回收	378

第八章 透明塑料回收利用

第一节 用 SBS 对 PS 回料改性及其应用	382
一、热塑性弹性体的概念	382
二、热塑性弹性体的结构特征和性能	384
三、SBS 在 PS 回收料中的改性效果	385
第二节 用 SBS 对 AS 回料改性及其应用	386
一、AS 的基本特性	386
二、SBS 在 AS 回收料中的改性效果	386
第三节 聚碳酸酯塑料回料的改性	387
一、聚碳酸酯塑料回料的增强改性	387
二、聚碳酸酯塑料回料的共混改性	388

参考文献



绪 论

一、废旧塑料与环境污染

塑料材料有质轻、加工方便、产品美观、经济实用等许多优良性能，因而能广泛应用于科学技术、日常生活等各个领域。我国每年塑料的生产量已超过 2000 万吨，居世界前列。塑料给我们的生活带来了方便，为科学技术等各个领域的发展做出了应有的贡献。然而，把利用后的塑料随意丢弃，会造成环境的严重污染。现在，有些人一提到保护环境就将塑料说得一无是处，好像塑料成了环境污染的罪魁祸首了，甚至于有人提出用纸包装代替塑料包装。应当指出，这么多年来，我们大力开展的以塑代钢、以塑代木、以塑代纸的提法和做法是正确的，为我国经济的发展做出了很大的贡献。纸张、木材、钢材的生产，对环境的破坏和污染将数倍于塑料。作者认为：造成污染的责任不是塑料本身，而是一定时期内工业技术的发展水平有限及使用塑料的人的素质参差不齐造成的。只要我们认真做好废旧塑料的回收再利用方面的研发工作，加大投入，科学管理，由塑料引起的环境污染将会得到解决，塑料加工行业的发展也必将是可持续的。

中国合成树脂及塑料加工虽然起步较晚，但发展速度非常快，尤其近几十年发展很快，塑料年产量由 20 世纪 80 年代初的 100 多万吨增加到 90 年代初的 300 多万吨。1996 年我国合成树脂与塑料产量达 495 万吨，在世界上塑料产量居第六位；塑料制品产量达

1574 万吨，仅次于美国，居第二位。

在产量迅速增加的同时，塑料也越来越广泛地应用在工业、农业、医学等领域，并对这些领域的发展起到了关键性的作用。在这些应用中，农田材料和包装材料占了多数，但这些应用场合的塑料材料大多使用寿命不长，使用周期短则几个月，长则 2~3 年。塑料用量增大，废塑料的产生量自然增加。据商业部门统计，1987 年我国废旧塑料收购量为 18.8 万吨；1988 年为 22.7 万吨，废旧塑料总量大约为 50~80 万吨，其中聚氯乙烯（PVC）废料占废塑料的 40%。我国对废旧高分子材料的回收利用工作虽然早就展开，主要依靠人工分拣，但大多数利用工作都集中在乡镇企业，他们利用简单的技术、简单的设备，制备简单而性能一般的产品，并且由于技术手段的落后，有时甚至造成新的污染。

随着高分子合成技术的进步，塑料工业的发展给人类提供了各种各样的塑料制品。塑料以其重量轻，耐腐蚀，易加工成型及成本低，使用方便等优点，被广泛应用于国民经济的多个行业，从工农业生产到衣食住行，塑料制品已深入到社会的每一个角落，进入到人们的生产、生活的各个领域。据国际塑料团体理事者协会（CIPAD）的报告，2001 年世界塑料产量为 1.81 亿吨，2003 年突破 2 亿吨，达 2.06 亿吨，2004 年已突破 2.1 亿吨。20 世纪 90 年代以来，随着我国石化工业迅速发展，我国塑料产量也快速增长。1990 年我国塑料产量达 227 万吨，2000 年首次突破 1000 万吨，比 1990 年增长 3.8 倍，10 年间平均增长率高达 16.9%；近年我国塑料产量仍以 10% 以上的速度增长，2004 年产量为 1850 万吨。根据规划，到 2010 年我国塑料的需求量将超过 4000 万吨。

世界塑料废弃物每年总产量已达到 5000 万吨。据调查，在工业发达国家的城市垃圾中废塑料占 4%~10%（质量分数）或 10%~20%（体积分数），废塑料中各品种所占百分比较大的分别为低密度聚乙烯、高密度聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯。因为废塑料丢弃量大，不易降解，难以处理，影响面广，污染严

重，被人们称为“白色污染”。

我国有关部门针对废塑料问题采取了一些措施，对造成严重污染的塑料品种制定政策加以限制，如铁路部门限制 EPS 快餐盒在铁路上的应用，用生物可降解的材料代替；上海市也曾下令限制 EPS 快餐盒在快餐店里使用。塑料加工工业协会成立了废旧塑料回收利用分委员会，曾经几次召开废旧塑料回收利用的经验交流会和学术讨论会，以促进废旧塑料的回收利用。同时国内在回收利用方面也取得一些成绩，引进了一批废旧塑料回收装置和设备，并结合国内外情况研制了一些回收利用机械，如清洗机、破碎机、造粒机等，兼处理及再生产品于一体的设备也有所发展。

我国台湾省是塑料生产能力较高的地区，1996 年产量达 457 万吨，当时在全世界居第七位，因此其塑料废弃物相应比较多。台湾也注意废塑料的回收利用，是废旧塑料回收利用工作做得较好的地区之一。

虽然我国废旧塑料的利用有较大的发展，但与世界先进水平还存在很大差距，废旧塑料的利用率还不高，有许多问题值得商讨。塑料回收利用仅在小型乡镇企业开展，资源被用掉，而引进的废塑料回收设备得不到原料，由于技术、设备、管理等落后，使产品性能不高，导致资源得不到有效利用。

人们的传统观念也有待改变，如认为废旧材料的利用研究是低级的研究工作等。因此我国应尽快采取一些措施，制定一系列有关废旧塑料回收、管理的法规、政策，促使回收利用的顺利进行；增加投入，建立一些研究机构和组织，开展研究和开发工作，以有效地保护我们的生存环境；加强宣传教育，提高国民素质，使回收利用提高一个档次。

目前废旧塑料的回收利用工作，还存在一定难度，因塑料废弃物随时随地出现，而且我国城市社区的垃圾中塑料废弃物的比重也在逐渐增加，如果对废旧塑料回收工作做不好，便谈不上利用。因此，为了更好地做好废旧塑料回收利用工作，应该采取有效的措施。

① 做好国民的宣传教育工作，利用一切新闻媒体，讲清回收废旧塑料的社会效益和经济效益，讲明废旧塑料对环境的污染和危害作用，使回收利用废旧塑料成为全民的自觉行动。

② 在全国城市社区内应制定一系列的有关废旧塑料回收利用的管理办法、法规、政策，对于违反者可实行一定的经济制裁。

③ 充分利用市场经济的规律，适当地提高废旧塑料收购价格，充分调动废旧塑料回收人员的积极性，采取多种形式，组织好回收废旧塑料的人员，并把这项工作列入政府有关的日常工作中去。

④ 改变国民的传统习惯、生活方式，提高国民素质，像养成不随地吐痰一样，养成不随地丢弃废物（包括废旧塑料）的好习惯，创造一个文明、美好、舒适的社会环境和工作环境。

⑤ 加大财力的投入，开展环境技术的开发与利用，开拓再生市场，应包括再生制品的研究与开发，减少废旧塑料的废物量。

废旧塑料的处理有三类：回收利用、填埋处理和焚烧。在我国，回收的利用率仅为5%，而作为垃圾填埋处理为93%，焚烧占2%。也就是说，我国对废旧塑料的处理主要是作为垃圾填埋处理。填埋处理时，塑料留在土壤内长期不分解，使土壤处于不稳定状态，并有可能使塑料中的有害物质（有些塑料的稳定剂、颜料等）溶出，污染土壤和地下水，造成二次污染。再有，填埋要占用大量的土地。由此可见，用填埋的方法处理废旧塑料是不可取的，必须以回收利用为主。

(1) 填埋法 在过去几十年中，废塑料是城市固体废弃物中重要的一部分，因此它一直被作为城市固体废弃物来处理，一些国家的城市垃圾处置多以填埋处理为主，约占全部处置总量的70%以上。

填埋法是利用土壤把垃圾掩埋其中，压实并依靠自然的环境氧化分解。填埋法的主要优点是技术成熟，垃圾不需分选，所以目前仍然是占主导地位的一种方法。但塑料填埋后短时间不会分解，故

而会占较多的填埋地。另外，填埋法也是对资源的一种浪费，同时又会造成二次污染、土质下降，在厌氧条件下还会产生甲烷、硫化氢等气体，易引起爆炸；同时塑料中的添加剂也对地下水造成不同程度的污染。

(2) 焚烧法 焚烧是处理垃圾的又一方法，把有机高分子材料送入燃烧炉进行燃烧，或回收热能或发电。聚烯烃的燃烧值很高，为 43.3MJ/kg，接近于燃料油的 44.0MJ/kg，比煤 29.0MJ/kg 高，比木材 16.0MJ/kg 或纸 14.0MJ/kg 要高得多。能量回收是废旧塑料利用的一个有效途径。在日本，焚烧垃圾是最主要的处理方式，在世界上日本焚烧炉最多，1986 年为 1899 座，比美国（157 座）和西欧（595 座）的总和的二倍还多；小城市使用中等焚烧炉，村镇和农村使用流动的车载炉，年焚烧量为 27 万吨，相当于 50 万人每年产生的垃圾。但是焚烧会产生许多有毒的气体，也产生大量二氧化碳，造成二次污染，并且高温焚烧易损坏炉子，维护费用较高；要消除或减少焚烧产生的污染需昂贵的燃烧器和废气处理设备，处理代价很高，因此焚烧在一定程度上受到限制。

(3) 塑料回收利用法

① 再生利用。再生利用法是废旧塑料经收集、分离、提纯、干燥等程序后，加入稳定剂等各种助剂，重新造粒，并进行再次加工生产的过程。虽然采用该法费用最低，但它要求原料一般应为组成单一，无污染物的废旧塑料。对于污染严重、分离困难、分离不经济的材料往往不能加以利用。另一方面，重复循环的材料因大分子降解而大大降低性能，甚至不能再应用。因此，其应用也受到了限制。

② 化学循环法。化学循环法是利用光、热、辐射、化学试剂等使聚合物降解成单体或低聚物的过程。降解产物可用作油品或化工原料（如单体可用于合成新的聚合物），应用不受到限制，并且生产过程中也不会造成大气污染，因此该种技术被认为是最有前途

的废塑料回收方法。

化学循环的主要方法是化学降解。聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）、聚苯乙烯（PS）及聚氯乙烯（PVC）约占城市固体垃圾废旧塑料含量的 90%。对以上体系，主要采用裂解，即热化学循环的方式进行回收。

二、废旧塑料回收利用价值

可回收利用的废旧塑料可分四个等级，每个等级的废旧塑料的价值不同。

一级回收料：是指采用一般的加工方法，不用进行改性处理，就能生产出与用新原料所生产出的制品性能相近的制品的废旧塑料。

二级回收料：是指经过改性或多种工艺技术，可生产出比新料制品性能稍差的制品的废旧塑料。

三级回收料：是指无法直接或改性使用，只能通过热裂解提炼燃油或化工产品的废旧塑料。

四级回收料：是指无法再利用，只能通过焚烧从中回收热能的一类废旧塑料。

三、废旧塑料回收利用中的问题

1. 回收困难

以泡沫塑料为例。泡沫塑料是由气体分散在固相有机聚合物中形成无数泡孔的轻质高分子材料，它的多孔性使其兼具固体和气体的典型特性。它们的共同特点是密度很低。所以，回收人员对回收泡沫塑料的兴趣不大，原因主要是泡沫塑料的密度太低了，回收了一大车（人力车，如三轮车）也没有几公斤，赚不了几个钱，有时甚至连生活费也不够。

废弃聚苯乙烯泡沫塑料的回收利用主要包括以下几种方法：

①热分解回收苯乙烯单体、油和沥青等；②熔融挤出法；③再生聚

苯乙烯原料；④直接破碎成粒，加入到新料中；⑤溶剂法回收利用废弃聚苯乙烯生产涂料、胶黏剂等产品。采用以上几种回收方法回收聚苯乙烯泡沫塑料，其中热分解方法工艺复杂、设备投资大；熔融挤出法能耗大，不便就地处理，运输费用高；直接破碎成粒的方法的再利用能力有限，粉碎的粉末对人体健康有害；溶剂法回避了上述不利因素，溶剂易回收、投资少、设备简单、操作安全、污染小或基本无污染，受人们的广泛青睐，但由于所利用的溶剂大部分有毒或价格昂贵而未能推广应用。如何有效地回收利用聚苯乙烯泡沫塑料备受重视。而且对于聚苯乙烯泡沫塑料制品的使用，目前各国态度不一，有的国家，如美国、德国、意大利和日本等，由于它不便回收，又污染环境，就下令禁止在快餐饮食业和某些包装场合使用，而使用其替代品。我国属于发展中国家，快餐饮食业起步较晚，快餐盒、杯、盘等聚苯乙烯泡沫塑料制品也是近些年才使用的，就人口大国而言，人均占有量还很低，如果也效仿工业发达国家禁止使用聚苯乙烯泡沫塑料制品，改用其他材料，就我国目前的经济状况、生产能力而言并不现实。另外，国内很多聚苯乙烯泡沫塑料制品的生产设备都是近些年从国外巨资购进的，一旦停产，耗费巨大，如果完全禁止聚苯乙烯泡沫塑料制品的生产，经济损失十分巨大，又会造成一定的社会问题。因此，就我国的实际情况来看，聚苯乙烯泡沫塑料制品在相当长的一段时间里还要继续使用。在其替代品还没有完全工业化之前，关键是做好聚苯乙烯泡沫塑料制品的回收和综合利用问题。

所以，物质回收技术（特别是废塑料裂解制取液体燃料技术）是适合我国国情的技术，它既能解决白色污染的问题，又能得到宝贵的资源。

2. 分选困难

有些塑料品种，密度相近，外观也差不多；再有，在制造制品时，将几种塑料混合在一起生产制品是常有的事，因此，要准确地