

塑料废弃物的

回收与

利用技术

刘均科 等 编



中國石化出版社

塑料废弃物的回收 与利用技术

刘均科 等编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书简述了目前国内外塑料废弃物回收利用的现状,详细介绍了塑料废弃物的分选和分离、各种废塑料(包括聚烯烃、聚氯乙烯、聚苯乙烯、工程塑料、热固性塑料、丙烯酸系塑料)和混合废塑料的回收利用技术、塑料废弃物的能量回收及热分解、回收利用机械等。

本书内容翔实,反映了该领域的最新技术发展水平,具有较强的实用性。

本书适合于从事塑料加工、物资回收、环境保护及有关科研单位的工程技术人员、生产人员和管理人员阅读,也可供高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑料废弃物的回收与利用技术/刘均科等编.

-北京:中国石化出版社,2000

ISBN 7-80043-850-3

I. 塑… II. 刘… III. ①塑料-废物回收②塑料-废物综合利用 IV. X783.2

中国版本图书馆 CIP 数气概核字(2000)第 05033 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271859

<http://press.sinopec.com.cn>

北京金剑印刷厂排版

北京京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

850×1168 毫米 大 32 开本 11.125 印张 297 千字 印 1—3000

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

前 言

塑料作为三大合成材料之一，具有许多优点，广泛应用于工业、农业、国防建设和人们的日常生活中。塑料为发展生产技术、提高人们的生活质量带来了诸多益处，但是塑料废弃物的处理却是一个比较棘手的问题。由于塑料品种多，用量大，收集、分类工作量大，通常在自然环境下不容易分解，塑料废弃物，尤其是使用后被丢弃的塑料包装材料和农用地膜，对生态环境的影响已引起人们的普遍关注和忧虑。对塑料废弃物的回收利用是从根本上解决其对生态环境影响的唯一途径。

本书是作者多年研究塑料废弃物回收利用技术的成果，汇集了国内外比较成熟的塑料废弃物回收利用技术，基本上反映了目前该领域的发展水平。内容包括国内外塑料废弃物回收利用现状，塑料废弃物的分选和分离技术，各种通用塑料（聚烯烃、聚氯乙烯、聚苯乙烯等）、工程塑料、丙烯酸系塑料和混合塑料的回收利用技术，塑料废弃物能量回收及热分解以及塑料废弃物回收利用机械的技术发展，具有较强的实用性。

本书适合于从事塑料加工、物资回收和环境保护等工作的工程技术人员和管理干部阅读。

参加本书编写工作的有刘均科（第一章、第二章、第三章、第九章）、沈曼英（第四章、第十章）、李红艳（第五章）、张玉霞（第六章、第七章、第八章），王树桓、张素坤和饶柏华同志也参加了部分工作，提供了许多有用的资料。

我国塑料工业界的老前辈陈文瑛教授审阅了本书，提出了许多宝贵而具有建设性的意见；中国石化出版社赵怡和何重金同志为本

书的出版给予了许多帮助，付出了辛勤的劳动，在此，我们一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中错误及不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 国外塑料废弃物回收利用概况	1
第二节 我国塑料废弃物回收利用概况	7
参考文献	9
第二章 塑料废弃物的分选、分离和回收利用技术	10
第一节 城市垃圾中塑料废弃物的分选	10
一、尺寸的减小	10
二、分选方法	10
第二节 塑料废弃物与其他物质的分离方法	17
一、塑料和纸的分离	17
二、从涂布塑料的织物上分离塑料	18
三、其他分离方法	20
第三节 混合塑料废弃物的回收利用技术	20
一、混合废塑料的来源	20
二、混合废塑料回收利用的途径	21
参考文献	25
第三章 废聚烯烃塑料的回收与利用技术	26
第一节 聚烯烃类薄膜和容器的使用情况	26
一、农用薄膜	26
二、包装薄膜和容器	28
第二节 废聚烯烃塑料的回收技术	29
一、薄膜的回收技术	29
二、容器的回收技术	35

三、编织袋和周转箱的回收	41
第三节 再生制品的开发和应用实例	42
参考文献	43
第四章 废聚氯乙烯塑料的回收与利用技术	44
第一节 概述	44
第二节 国外废聚氯乙烯塑料回收利用现状	46
第三节 废聚氯乙烯塑料的来源	47
一、工业废料	48
二、废弃物中的塑料	49
三、废聚氯乙烯塑料物流的处理	50
第四节 废聚氯乙烯塑料的焚烧	51
第五节 废的硬聚氯乙烯塑料制品的回收利用	53
一、塑料瓶	53
二、压延片材	56
三、建筑产品	56
第六节 废的软聚氯乙烯塑料制品的回收利用	57
一、汽车废弃物	57
二、电线和电缆护套	57
三、包装薄膜	58
四、农用薄膜	59
第七节 聚氯乙烯增塑糊产品的回收	62
一、瓶盖	62
二、地板	62
参考文献	63
第五章 废聚苯乙烯塑料的回收与利用技术	64
第一节 国内外废聚苯乙烯塑料回收利用现状及问题	64
第二节 废聚苯乙烯塑料的回收利用技术	66
一、混合废塑料的分离	66

二、回收工艺及设备	69
三、热分解回收苯乙烯和油类	86
四、制备涂料和粘合剂	109
五、直接回收利用	111
第三节 国内外废聚苯乙烯塑料回收利用的问题	115
参考文献	121
第六章 废工程塑料的回收与利用技术	123
第一节 概述	123
一、工程塑料的应用	123
二、废工程塑料回收利用现状	123
三、废工程塑料回收与处理方案	124
第二节 废工程塑料的来源	124
一、工业废料	125
二、消费后的废料	125
第三节 消费后工程塑料的回收利用技术	127
一、废汽车上塑料件的回收利用技术	128
二、废聚对苯二甲酸乙二酯塑料的回收利用技术	150
三、废 ABS 塑料的回收利用技术	169
四、废聚碳酸酯塑料的回收利用技术	170
五、废聚甲醛塑料的回收利用技术	175
六、废聚酰胺塑料的回收利用技术	177
七、废聚对苯二甲酸丁二酯、聚苯醚及其他废 塑料的回收利用技术	186
八、废混合工程塑料和聚合物合金的回收利用技术	186
参考文献	188
第七章 废热固性塑料的回收与利用技术	191
第一节 废热固性塑料的来源	191
一、聚氨酯	191

二、酚醛树脂	192
三、不饱和聚酯	192
四、环氧树脂	193
第二节 废热固性塑料的回收利用技术	193
一、机械回收	193
二、化学回收	203
三、分解	210
四、能量回收	212
参考文献	212
第八章 废丙烯酸系塑料的回收与利用技术	214
第一节 废丙烯酸系塑料的来源	215
第二节 废丙烯酸系塑料的回收利用技术	216
一、化学回收	216
二、机械回收	223
参考文献	224
第九章 塑料废弃物的能量回收及热分解	226
第一节 含有废塑料的城市固体废弃物 物的能量回收技术	226
一、能量回收的基本原理	226
二、焚烧炉的结构	227
三、能量回收反应机理及影响因素	228
四、能量回收系统的类型	230
五、固体废弃物热分解实例	232
六、作为发电厂补充燃料的技术	258
第二节 废塑料的热分解技术	265
一、热分解油化工艺	270
二、热分解实例	280
第三节 废塑料的化学分解技术	294

一、水解	295
二、醇解	298
三、其他过程	300
参考文献	301
第十章 塑料废弃物回收利用机械	303
第一节 各种回收机械的原理分析	303
一、简单回收设备	304
二、成套回收设备	310
第二节 国外废塑料回收利用机械	321
一、德国帕尔曼公司废塑料回收设备	321
二、奥地利 Erema 公司废塑料回收技术与设备	321
三、法国 SMS 公司 Sclarplast 废塑料再造粒系统	325
四、意大利废塑料回收技术与设备	326
五、日本塑料复合回收装置	329
第三节 国内废塑料回收利用机械	333
一、废塑料清洗设备	333
二、废塑料粉碎设备	334
三、废塑料造粒设备	334
参考文献	345

第一章 绪 论

随着塑料工业的发展，塑料制品的应用日益广泛。塑料与钢铁、木材、水泥一起构成了当今世界的四大基础材料。塑料以优良的性能仍在继续扩大着其应用领域，发挥着重要的作用。

随着塑料制品消费量的不断增长，塑料废弃物(或称为消费后塑料)量也迅速增加，对环境的影响日趋突出。塑料废弃物的处理已成为全球性的问题。目前世界树脂产量已达 120Mt，其中约有 30% 用于包装。使用后的包装塑料大多数成为城市固体废弃物(MSW)进入垃圾处理系统，由于它们不能自行分解，如果处理不当会对生态环境产生不利的影响。

近年来，随着生产的发展和人们消费水平的提高，城市固体废弃物中塑料废弃物的含量逐步上升，据统计，在大中城市，比例高达 10% 左右。因此，采取积极对策，加强对塑料废弃物的处理是保护良好的生态环境，促进塑料工业健康发展的重要措施。

第一节 国外塑料废弃物回收利用概况

塑料废弃物的回收利用已成为环境保护的重要课题。世界各国都在积极研究对策和制定有关的安全卫生及环境保护法规。

美国是世界合成树脂生产大国，1998 年生产量达到 31.5Mt。据美国塑料生产者协会估计，到 2000 年，美国将生产 34Mt 塑料制品，塑料废弃物将达 16~17Mt，其中包装材料所占比例较大。尽管塑料废弃物逐年增加，而将塑料废弃物作为垃圾进行填埋的可用地却在逐年减少，填埋的费用也越来越高，许多州和地区的废弃物

填埋、堆放成了难题。这种情况使得燃烧法成为塑料废弃物回收利用的重要方法。在西欧和日本，处理塑料废弃物的方法之一是燃烧，以利用其产生的热能。1985年美国燃烧掉的塑料废弃物占原料总量的5%，1987年达到10%，预计到2000年将达到20%。

70年代初，美国就开始研究塑料对环境的污染问题，制止乱丢废弃物，积极处置废弃物。由于填埋塑料废弃物会影响生态环境，造成二次污染，美国至少有30个州制订了限制使用塑料及处理塑料废弃物的法规。

新泽西州议会提出的法案中，禁止销售用聚苯乙烯(PS)或任何其他以石油为基础不能降解的材料制成的容器。

俄勒冈州已提出两项针对塑料容器的法案。其一，要求制定塑料回收和垃圾处置计划，以促进塑料容器的回收和有效处理。其二，要求工业界在其产品中只能使用某一品级的塑料，并相应地在容器上印出表明材料类别的标记。该州还在草拟两项其他法案，禁止销售一次性尿布和禁止使用塑料购物袋，因为这些产品均是用不能降解的塑料制成的。另一法案要求该州塑料产品批发商向环境质量监控部门领取产品经营许可证。这类产品应有醒目的标签，写明“注意：此材料对野生动物有危害，请勿随意乱扔”。

康涅狄格州的一项法案要求研究在消费品中减少“过分包装”，并鼓励在包装中采用可生物降解的材料。

有关环境保护法规的实施，在一定程度上对塑料产品的应用开发和销售市场有影响。迄今为止，尽管一些政策受到抵制，但是立法机构仍然积极主张，要求工业界努力改变将塑料废弃物焚烧或就地填埋影响环境的状况。为了促进塑料工业的发展，美国塑料工程师协会的技术年会已设专题讨论塑料与环境问题，将塑料废弃物回收利用列入议事日程。

美国环保局(EPA)提出了一种废弃物综合管理系统。该系统围绕减少废弃物来源，回收和焚烧利用热能，可大大减少填埋量，得

到了普遍的认可。但由于焚烧时产生的挥发性气体污染环境，对这种回收利用方式也有一定的限制。

在美国，为解决城市固体废弃物处理问题，大多数人认为，可行的解决办法是：减少来源；回收利用；焚烧作为能源利用；填埋。

由于丢弃的塑料废弃物危及野生动物的生命安全，对环境有影响，许多野生动物保护组织和环境保护组织曾在世界范围内呼吁对塑料废弃物公害的关注。早在 70 年代，美国就开展了光降解塑料的研究，主要用于饮料罐提环、垃圾袋、农用地膜、施肥袋等。由于光降解塑料的不完全降解性、降解可控性及可能会产生二次污染等问题没有得到很好的解决，而更主要的是由于石油危机原料价格上涨，要求节约资源、充分利用资源的呼声高涨，降解塑料发展缓慢。80 年代中期，由于来自环境保护舆论的压力及有关法规，美国又重新对光降解塑料的应用进行开发研究，并着重研究开发可完全生物降解塑料和光/生物降解塑料。1992 年降解塑料约占美国塑料总产量的 1.8%，1997 年已增加到 3.3% 左右。

西欧城市固体废弃物中，塑料约占总质量的 7.4%，总容积的 15%~20%。西欧每年消耗各种树脂约 30Mt。最近 10 年，塑料增长率稳定在年均 4%~6% 的范围。其中用于建筑的塑料占 16%，汽车工业占 10%，农业占 4%，包装材料占 38%，不同领域的大宗用品约占 32%。用量最大且使用期限最短的是包装材料，使用期限平均为 1~3 个月。

西欧国家对固体废弃物的管理采取一致行动，目标一体化，但也考虑各自的地理环境、人口、工业生产能力、国民的生活习惯等因素。在瑞士达沃斯召开的“'92 国际回收讨论会”上提出，固体废物管理一体化方案基于三项原则：

- (1) 防止废弃物产生；
- (2) 废弃物回收和再利用；

(3) 不可回收废弃物的安全处理。

原欧洲共同体部长会议曾在 1987 年 7 月正式通过了有关废弃物的 130R 决议，应允了如下四项原则：

- (1) 减少废弃物；
- (2) 使处理和排出废弃物标准取得一致；
- (3) 减少废弃物在成员国之间转移；
- (4) 财政与市民的责任。

由此进一步提出了改进废弃物回收的四项倡议：环境检查；综合控制污染；生态标志或产品检查；优先考虑废弃物的利用。

目前，西欧城市固体废弃物的处理情况是填埋占 72%，焚烧利用能量占 16%，单纯的燃烧占 5%，回收利用占 7%。

不同的国家对城市固体废弃物的焚烧比例也各不相同：瑞士为 80%，丹麦为 65%，法国为 32%，瑞典为 5%。德国的焚烧技术较为完善，但由于焚烧时存在有害气体的散发，受到有关法规的限制，到 2000 年焚烧回收能量将占塑料废弃物回收总量的 36%，荷兰将达到 40%。英国仍以填埋为主，约占其城市固体废弃物的 80%。

面对塑料废弃物对环境的污染，造成的社会公害日益严重，应该采取什么对策？几年前，意大利的环境保护主义者曾提出过使用塑料的规定，它受到意大利塑料联合会(即塑料加工者协会)和塑料协会(化学制品联合会)的反对。但是，现在欧洲最重要的发展趋势是塑料原料的回收和再循环使用。例如，全欧洲在包装方面所用的塑料原料几乎高达每年 10Mt，而其中大多数是作为一次性包装使用，包装又正是塑料工业中一个主要的增长领域(其中高性能的专门配方也不断增长)，把这种宝贵的材料使用一次后就扔掉是否正确？这值得考虑。今天，欧洲每制造 1 辆汽车就要用 100kg 左右的塑料，欧洲每年的汽车生产量已达 1100 万辆，即每年需要 100 多万吨的塑料，欧洲人士估计当这些汽车逐年报废后，每年将有 1Mt

的高价值的塑料被废弃。随着塑料的应用进一步发展扩大，尤其是用塑料制造车身之后，塑料的总用量还将增加。

早在 70 年代初，工业发达国家如美国、意大利、德国、日本、法国等都建有健全的城市垃圾收集与分类系统，并采用实际填埋和焚烧并用的方法处理固体废弃物，但它带来地下水源、河川、湖泊以及大气等生活环境的污染。例如，法国巴黎 3 个焚烧场所对每日约 5kt 垃圾进行焚烧，利用燃烧热产生的蒸汽向 3.5 万人的地区供暖。作为一项没有二次公害的直接回收能源的新的资源化技术，在华盛顿附近的马里兰市建立了一家热分解工厂，投资 1500 万美元，每日可处理 1kt 吨垃圾，除每小时生产 90t 蒸汽外还可回收 70t 铁，170t 玻璃，80t 炭粉。此外，还有微生物分解技术以及对城市垃圾废物资源化综合治理系统的建立等。随着塑料的应用日益广泛，工业发达国家城市垃圾中塑料废弃物已高达 10%，因此城市垃圾中废塑料的回收已日益得到重视。家庭垃圾中的塑料回收比较困难，一般垃圾中包含的是质量一般的普通塑料，且不同种类的塑料混杂在一起，污染又严重，回收费用昂贵，回收的主要困难是收集与分类。由于处理成本高，再制品市场受到限制。

采用填埋或焚烧法处理塑料废弃物的问题较多。填埋时，塑料留在土壤内长期不分解，使土壤处在不稳定状态，并有可能使塑料中的有害物(稳定剂、颜料等)溶出，造成二次污染。将废弃塑料焚烧，产生很高的热量不仅损害焚烧炉的炉体，而且还生成氯化氢、氰和 NO_x 等有害气体。焚烧处理也有许多困难之处，从所谓充分利用资源的角度来看，今后这一处理方法也必须减少。作为再生原料再利用主要有三个方面：熔融再生加工利用；热分解回收油、气的利用；燃烧热利用。

对塑料废弃物进行热分解生产油和气，重新利用这些原料，其研究已愈来愈多地受到人们的重视。

热分解塑料废弃物的主要困难是塑料导热性差，使得工业上大

规模的高分子热裂解不容易进行。目前,解决这个问题通常采用管式和鼓式炉以及流化床加热炉等外部加热的方法。这种方法难以生产出高质量的热解油。采用经夹套喷射管加热的流化床作热解反应器可进一步提高热解效率。高达 50% 的废弃塑料以及含有约 95% 的芳烃以液态形式得到回收。该方法可以回收非常肮脏的或混合的塑料废弃物。

由于热分解回收系统是全封闭的,从塑料废弃物中高温回收塑料,热量和物质的转换较理想,所以热分解法能够储存并保留大量的有价值的碳氢化合物结构的石油化学产品。由于热分解产物是石油化工的有用原料,用此法处理塑料废弃物比焚化或用作燃料获益更大。

目前可回收利用的塑料废弃物主要来自两个方面:一是塑料加工厂产生的副产物、污染的树脂及加工过程的边角残料、清洁的废塑料制品,这部分材料易于收集,可进行有效的回收利用;另一部分是各工业部门、商业、家庭、农业等领域使用过的严重沾污的塑料制品,如废弃的农膜、工业用品、日用塑料等。目前,不仅废弃的聚氯乙烯(PVC)、聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚酰胺(PA)、聚苯乙烯(PS)、聚酯(PET)、酚醛等塑料被回收利用,而且废弃的泡沫塑料、热固性塑料等也得到利用。

城市垃圾(包括工业垃圾中的废弃塑料)利用清洗和分解除掉污秽物料(因为需要高纯度的物料)的有效系统是具有重要意义的,这不仅关系到处理混杂塑料垃圾的技术对提高回收料的质量、降低成本的作用,而且与再生塑料制品的开发应用和其性能也密切相关。

近几年,国内外对降解塑料的研究表现出极大的热情,针对那些质量大、不易回收的制品,如农地膜及各种塑料包装袋(盒)等,采用生物降解、光降解和热降解等方法,以减轻其对环境的不良影响。近 10 年来,随着塑料工业的发展,意大利塑料废弃物的回收利用工作十分活跃。根据意大利有关部门提供的数据,1994

年意大利回收利用的塑料总量达 0.63Mt。

意大利的塑料废弃物在城市垃圾中占 4% 左右，其中一半是低密度聚乙烯薄膜。意大利除了回收利用本国的废弃聚乙烯制品外，还从其他国家如德国、法国进口大量的塑料废弃物进行回收。回收利用的主要用途是生产垃圾袋，占其消费总量的 20%，但大量的还是用在其他使用聚乙烯薄膜的应用领域。

日本是亚洲塑料废弃物回收利用工作做得较好的国家之一。日本塑料废弃物的收集、分类、处理、利用都已系列化、工业化。其原因在于有健全的组织系统，有明确的目标，制定了一系列方针、政策、法规，并采取了有效的措施。

早在 70 年代初，日本就开始重视塑料废弃物的回收利用工作，涉及厚生省、通产省和农林省三个部门。厚生省的对策室制订法规；通产省制订方针、政策，提出研究课题，通过塑料处理协会等民间组织来具体实施；农林省主管农林塑料废弃物处理工作，通过日本园艺设施协会和地方农政局，并与通产省及各农业民间组织协同进行。

日本国土面积相对较小，居民居住密度高，塑料废弃物的填埋比较困难，人均产生的废弃物量较大，主要采用焚烧方式处理。1994 年日本塑料总产量达到 13Mt，仅次于美国，占世界第二位。塑料废弃物累计达 4.46Mt，其中填埋 1.14Mt (25.5%)，焚烧 2.5Mt (56%)，用于发电 0.83Mt (18.5)。目前，大约有 600 家企业在积极地从事回收利用塑料废弃物的工作。

第二节 我国塑料废弃物回收利用概况

我国塑料工业相关部门对塑料废弃物的回收利用一直十分重视，早在 1975 年 7 月原轻工业部曾在上海主持召开“全国废旧塑料回收利用经验交流会”，会议指出废旧塑料回收利用不是权宜之