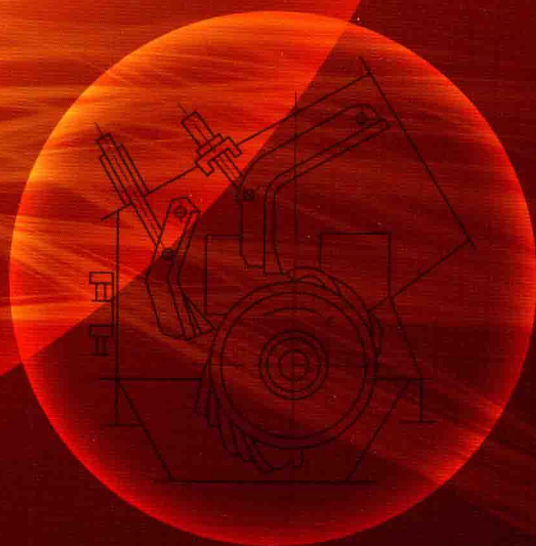


赵明 杨明山 编著 ○



实用塑料回收 配方·工艺·实例

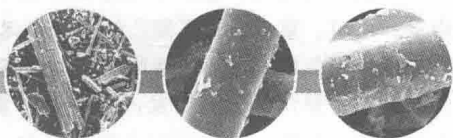
SHIYONG SULIAO HUI SHOU
PEIFANG GONGYI SHILI



非
外
借



化学工业出版社



实用塑料回收 配方·工艺·实例

赵明 杨明山 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

废塑料再生利用已成为中国经济发展中不可或缺的重要产业。本书全面介绍了废旧塑料的回收利用知识,包括再生方法、鉴别方法,以及加工设备;同时,重点介绍了聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酯等通用性塑料、工程塑料、热固性塑料的回收制备技术,还包括废旧塑料制备木塑复合材料技术等。

全书内容强调通俗易懂,从实用性、先进性和可操作性角度出发,列举了大量实例与配方,提供了较为详细的工艺条件,方便读者在生产实际中的应用。另外,考虑到生产的实用性,所选择的配方大多生产方法较为简便,利于实施。

本书可供广大从事塑料工业的工程技术人员、生产人员、销售和管理人员参考,也可作为废旧塑料回收利用从业人员以及高分子材料专业在校师生的学习手册和教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

实用塑料回收配方·工艺·实例/赵明,杨明山编
著. —北京:化学工业出版社,2018.1
ISBN 978-7-122-30966-2

I. ①实… II. ①赵… ②杨… III. ①塑料-废品回收
②塑料-废物综合利用 IV. ①X783.205

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第276462号

责任编辑:朱 彤
责任校对:边 涛

文字编辑:李 玥
装帧设计:刘丽华

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:河北鹏润印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张19 字数503千字 2019年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888

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:88.00元

版权所有 违者必究



进入 21 世纪以来,随着塑料大量应用,塑料制品消费量不断增大,废弃塑料也不断增多。塑料废弃物剧增及由此引起的社会和环境问题引人关注。我国是一个塑料生产大国和塑料消费大国,如何化解废弃塑料和垃圾塑料带来的污染问题,迫在眉睫。绝大部分塑料制品,特别是大量、一次性使用的塑料制品,使用后,塑料材料本身的性能并没有大的改变,完全可以回收后用适当方法重新加工成塑料制品后再次使用。废塑料再生利用产业已成长为经济发展中不可或缺的资源型环保产业。针对国内的生产和技术现状,系统地对废旧塑料再生技术进行研究和开发,是解决废旧塑料问题的有效方法,也是塑料行业持续发展的必由之路。

为了提高广大塑料从业人员的专业技术水平,作者结合自己的实际工作经验,参考最近几年的相关资料,从实用性、先进性和可操作性角度出发,编写了这本《实用塑料回收配方·工艺·实例》。全书列举了大量实例与配方,并从配方的制备方法、性能与用途几个方面进行编写,提供了较为详细的工艺条件,方便读者在生产中的实际应用。同时,本书在列出产品基本性能的同时,尽可能给予说明和解释,有利于读者进行对照和参考,也有利于读者加深对再生塑料配方的认识。同时,考虑到生产的实用性,所选择的大多数配方都是生产方法较为简便、利于实施的。

全书共 13 章,主要分为两个部分。其中,第一章作为第一部分,概述了废旧塑料的回收利用基本知识,包括再生方法、鉴别方法以及加工设备。其余章节作为第二部分,从实用性出发,列举了包括主要废旧塑料品种回收利用的配方和实例,重点介绍了聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酯等通用塑料、工程塑料、热固性塑料的废旧塑料回收制备技术,还包括废旧塑料制备木塑复合材料的方法,其中第十章废旧聚乙烯醇缩丁醛的再生利用是考虑到聚乙烯醇缩丁醛材料回收的需求而专门增加的。需要指出的是,废旧塑料的情况比较复杂,加工企业的设备存在差异,书中所列配方仅供参考和借鉴。在塑料品种再生生产过程中,还应根据具体情况进行分析和改进。本书适用于广大从事塑料工业的一线工程技术人员,废旧塑料回收、再生、利用人员以及高分子材料加工技术专业的在校学生学习 and 参考。

本书由赵明、杨明山共同编写。其中,第七章至第十章由北京石油化工学院杨明山教授编写,并对全书进行了审阅,特此表示感谢。

由于编著者水平有限,书中肯定还存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编著者

2017 年 12 月



| | |
|---------------------------------------|------------|
| 第一章 废旧塑料的回收利用概述 | 001 |
| 第一节 废旧塑料的再生利用市场现状和前景 | 001 |
| 一、废旧塑料的再生利用市场现状 | 001 |
| 二、废旧塑料的再生利用发展前景 | 002 |
| 第二节 废旧塑料再生方法 | 003 |
| 一、熔融再生 | 003 |
| 二、化学回收法 | 004 |
| 三、能量回收 | 006 |
| 第三节 废旧塑料鉴别技术 | 007 |
| 一、外观鉴别法 | 008 |
| 二、燃烧鉴别法 | 009 |
| 三、密度鉴别法 | 010 |
| 四、仪器分析鉴别法 | 013 |
| 五、综合鉴别法 | 015 |
| 第四节 废旧塑料回收加工 | 015 |
| 一、废旧塑料的来源 | 015 |
| 二、废旧塑料的分选 | 017 |
| 三、废旧塑料的粉碎 | 019 |
| 四、废旧塑料的造粒 | 022 |
| 五、废旧塑料的塑化和再生 | 022 |
| 六、废旧塑料的共混改性 | 024 |
| 第二章 废旧聚乙烯的再生利用 | 026 |
| (一) 再生聚乙烯制备无卤阻燃保温泡沫材料 | 026 |
| (二) 超高分子量聚乙烯复合材料废料制备纤维增强聚氨酯泡沫材料 | 029 |
| (三) 再生 HDPE 制备电力地下护套管 | 030 |
| (四) 改性回收聚乙烯与聚氯乙烯的共混型材 | 030 |
| (五) 增韧多次回收聚乙烯料 | 031 |
| (六) 回收利用废旧交联聚乙烯泡沫塑料 | 032 |
| (七) 再生聚乙烯制备管道防腐聚乙烯专用料 | 033 |
| (八) 回收薄膜 LDPE 对回收的 HDPE 交联共混增韧 | 033 |
| (九) 回收高密度聚乙烯/聚丙烯共混改性料 | 034 |
| (十) 增强增韧回收聚乙烯材料 | 034 |
| (十一) 回收聚乙烯塑料专用母料 | 035 |

| | |
|--|------------|
| (十二) 聚乙烯白色垃圾中聚乙烯的提取 | 036 |
| (十三) 废聚乙烯塑料制备聚乙烯蜡 | 036 |
| (十四) 废旧聚乙烯制备发泡材料 | 037 |
| (十五) 再生 PE 地膜 | 038 |
| (十六) 硫酸钙晶须填充改性废旧聚乙烯再生料 | 039 |
| (十七) 废旧聚乙烯一步法制备聚乙烯管材 | 040 |
| (十八) 废纸增强再生高密度聚乙烯复合材料的制备方法 | 041 |
| (十九) 废旧轮胎胶粉/聚乙烯发泡材料的制备方法 | 042 |
| (二十) 回收再利用交联聚乙烯电缆绝缘皮的方法 | 045 |
| (二十一) 用再生 PE 作部分原料的彩色接枝共聚物黏合剂及制法 | 046 |
| (二十二) 一种利用废旧 HDPE 塑料制备大口径双壁波纹管的方法 | 047 |
| 第三章 废旧聚丙烯材料回收再利用 | 049 |
| (一) 废旧聚丙烯/废弃印刷线路板非金属粉复合材料 | 049 |
| (二) 废旧聚丙烯框料的增强增韧 | 053 |
| (三) 废旧聚丙烯和废旧聚氨酯制备泡沫塑料片材 | 054 |
| (四) 废旧聚丙烯生产生物农膜的配方 | 054 |
| (五) 废弃聚丙烯医用塑料输液容器制备的增韧粒料 | 055 |
| (六) 中碱玻璃纤维增强聚丙烯洗衣机转筒回收料 | 056 |
| (七) 聚丙烯再生料编织袋专用增强增韧母粒 | 056 |
| (八) 再生聚丙烯阻燃改性材料 | 057 |
| (九) 含有改性聚丙烯的瓦楞纸 | 058 |
| (十) 废旧聚丙烯分子链改性的抗静电聚丙烯塑料检查井材料 | 058 |
| (十一) 玻璃纤维增强废旧聚丙烯建筑模板 | 059 |
| (十二) 导电炭黑改性再生聚丙烯 | 060 |
| (十三) 蛇皮袋类聚丙烯的降解 | 061 |
| (十四) 废旧聚丙烯纤维和废旧聚酯纤维制备复合纤维板 | 061 |
| (十五) 固相力化学方法回收利用废弃聚丙烯/废旧电路板 (WPCB) | 062 |
| (十六) 废旧轻质长玻纤聚丙烯 (GMT) 回收利用 | 064 |
| (十七) 旧报纸纤维增强回收聚丙烯 | 067 |
| (十八) 乙烯-辛烯共聚物 (POE) 对废旧聚丙烯塑料的改性 | 068 |
| (十九) 废旧聚丙烯/高抗冲聚苯乙烯 (r-PP/r-HIPS) 复合材料的制备 | 069 |
| (二十) 汽车内饰件边角料的回收再利用 | 070 |
| (二十一) 无卤阻燃长玻璃纤维增强回收聚丙烯材料及其制备方法 | 072 |
| (二十二) 废旧聚丙烯塑料生产聚丙烯纤维 | 075 |
| (二十三) 聚丙烯再生料制备发泡板材料 | 076 |
| (二十四) 液相催化降解废旧聚丙烯塑料生产乙酸 | 077 |
| (二十五) 再生聚丙烯改性增强模压产品专用料及其生产方法 | 078 |
| (二十六) 回收汽车保险杠的脱漆方法 | 080 |
| 第四章 废旧 PVC 的回收和再生利用 | 082 |
| 第一节 概述 | 082 |

| | |
|--|------------|
| 第二节 废旧 PVC 的回收和再生利用配方 | 083 |
| (一) 废 PVC 农膜改性再生钙塑地板砖 | 083 |
| (二) 煤矿井巷用密闭 PVC 薄膜 | 085 |
| (三) 聚氯乙烯再生塑料颗粒 | 085 |
| (四) 利用废旧硬质 PVC 材料生产的双壁波纹管 | 086 |
| (五) 用废旧 PVC 料制造汽车脚踏垫的方法 | 087 |
| (六) PVC 电缆生产中的废料的再生利用 | 088 |
| (七) 废旧 PVC 膜重新造粒再生 PVC 软管 | 089 |
| (八) 回收 PVC 门窗软硬共挤废料制备热塑性弹性体 | 091 |
| (九) 再生料聚氯乙烯拖鞋 | 092 |
| (十) 废旧 PVC 和粉煤灰复合材料制备 | 093 |
| (十一) 废聚氯乙烯生产功能保健地板砖 | 094 |
| (十二) 保温再生的 PVC 高性能装饰材料 | 096 |
| (十三) 可再生聚氯乙烯地板 | 096 |
| | |
| 第五章 废旧聚苯乙烯塑料回收与再生 | 097 |
| 第一节 废旧聚苯乙烯塑料回收与再生概述 | 097 |
| 第二节 废旧聚苯乙烯塑料回收与再生方法 | 099 |
| (一) 废旧电视机外壳高抗冲聚苯乙烯的增韧增强改性 | 099 |
| (二) 噁唑啉对废旧高抗冲聚苯乙烯的扩链改性 | 101 |
| (三) 增容剂 SEP 对废旧聚丙烯/废旧高抗冲聚苯乙烯的改性 | 104 |
| (四) BMI/SEBS 对废旧高抗冲聚苯乙烯的扩链改性 | 106 |
| (五) 改性高抗冲聚苯乙烯塑料 | 108 |
| (六) 废旧 HIPS/ABS 共混改性复合材料 | 109 |
| (七) 再生 HIPS 阻燃环保改性材料 | 110 |
| (八) 改性废旧高抗冲聚苯乙烯抗老化母料 | 111 |
| (九) 用废旧聚苯乙烯塑料制备涂料用树脂 | 112 |
| (十) 无毒无污染聚苯乙烯涂料 | 114 |
| (十一) 高冲性/可发性聚苯乙烯回收料制备可发性聚苯乙烯改性材料 | 116 |
| (十二) 耐冲击型聚苯乙烯次料改性回收配方 | 117 |
| (十三) 由废旧电器类聚苯乙烯材料制备的高性能聚苯乙烯合金 | 117 |
| (十四) 废旧聚苯乙烯泡沫制备对硝基苯甲酸 | 119 |
| | |
| 第六章 废旧聚酯的再生利用 | 123 |
| (一) 地沟油与聚酯瓶片合成醇酸树脂胶黏剂 | 124 |
| (二) 扩链剂化学改性回收 PET | 125 |
| (三) 赛克醇解废旧聚酯瓶制备漆包线漆 | 126 |
| (四) 无卤阻燃增强 PTT/回收 PET 瓶片 | 127 |
| (五) 回收聚酯瓶制备 PET/PE 合金管 | 128 |
| (六) 废旧 PET 瓶制作聚氨酯人造革 | 129 |
| (七) 废旧 PET 制备的不饱和聚酯包膜控释肥料 | 130 |
| (八) 废旧聚酯瓶生产塑编袋、集装袋用扁丝 | 131 |

| | |
|---|------------|
| (九) 废旧聚酯瓶制备阻燃硬质聚氨酯泡沫原料聚酯多元醇 | 132 |
| (十) 涤纶和氨纶混纺织物回收制备再生聚酯短纤维 | 133 |
| (十一) 废旧 PET 材料制备的增韧材料 | 134 |
| (十二) 印刷 PET 薄膜脱色回收制备高纯 PET 切片 | 134 |
| (十三) 涤棉废旧衣物制备复合毡 | 135 |
| (十四) PET 废弃物生产油漆 | 136 |
| (十五) 阻燃凉爽再生聚酯长丝纤维 | 136 |
| (十六) 抗菌再生聚酯纤维 | 137 |
| (十七) 废旧聚酯合成吸湿排汗剂 | 138 |
| (十八) 废旧 PET 塑料生产减水剂 | 139 |
| (十九) 废旧 PET 瓶片生产的汽车分电器盖 | 140 |
| (二十) 回收聚酯生产的打包带 | 141 |
| (二十一) 聚对苯二甲酸乙二醇酯瓶回收料制备塑料管件 | 141 |
| (二十二) 再生 PET 热轧纺黏无纺布制作 | 142 |
| (二十三) 回收吹塑 PET 为基材的超韧工程塑料 | 143 |
| (二十四) 废旧 PET 材料生产编织袋 | 145 |
| (二十五) 改性聚对苯二甲酸乙二醇酯瓶回收料制备塑料模板 | 146 |
| (二十六) 回收 PET 塑料制备砂浆黏合剂 | 147 |
| (二十七) 废旧 PET 增韧增黏 | 150 |
| (二十八) 解聚废旧 PET 的一种方法 | 152 |
| (二十九) 废弃 PET 瓶片为原料的无卤阻燃工程塑料 | 153 |
| 第七章 废旧 ABS 塑料的再生利用 | 156 |
| (一) 扩链接改性废旧 ABS 塑料 | 156 |
| (二) TPU-g-MAH 增韧废旧 ABS | 157 |
| (三) 环氧树脂增韧废旧 ABS | 159 |
| (四) 中药渣纤维/回收 ABS | 159 |
| (五) 废旧洗衣机 ABS 塑料增韧 | 161 |
| (六) 环保抗菌塑料桶 | 161 |
| (七) 再生 ABS 塑料原位增韧 MC 尼龙 6 | 162 |
| (八) 废旧印刷电路板非金属粉增强的废旧 ABS | 162 |
| (九) 低成本塑料容器 | 164 |
| (十) 改性 ABS 新能源蓄电池外壳专用材料 | 165 |
| (十一) 注塑用回收 ABS 粒料 | 166 |
| (十二) 再生料聚碳酸酯/再生料 ABS 合金 | 167 |
| (十三) PC/ABS 废旧料回收配方 | 168 |
| 第八章 废旧聚碳酸酯的再生利用 | 170 |
| (一) 再生 PC/PET 无卤阻燃合金 | 170 |
| (二) 聚碳酸酯回收料的增韧改性 | 171 |
| (三) 废旧光盘回收聚碳酸酯 | 172 |
| (四) 再生 PC 和再生 PET 制备阻燃复印件或打印机外装部件 | 174 |

| | |
|--------------------------------------|------------|
| (五) 环保高亮度塑料管 | 175 |
| (六) 再生 PC 和 PBT 的共混合金 | 175 |
| (七) 废弃光盘制备柔性纳米复合膜 | 176 |
| (八) 废旧 PC/ABS 合金 | 177 |
| (九) 废旧电器外壳制备的高性能导热绝缘 PC/ABS 合金 | 177 |
| (十) 玻璃纤维增强再生 PC | 178 |
| (十一) 废旧光盘和印刷电路板制备新型增强聚碳酸酯 | 179 |
| (十二) 玻纤增强聚碳酸酯再生料 | 179 |
| (十三) PC/PBT/PET 合金 | 180 |
| (十四) 透明增韧改性聚碳酸酯回收料 | 180 |
| (十五) “核-壳”结构硅橡胶增韧阻燃聚碳酸酯回收料 | 188 |
| 第九章 废旧聚酰胺的再生利用 | 195 |
| (一) 缓冲空气垫回收再生 | 195 |
| (二) 回收尼龙的扩链改性 | 197 |
| (三) 离子液体溶解回收废旧尼龙制备尼龙粉末 | 199 |
| (四) PA/ABS 合金材料的制备 | 199 |
| (五) 注塑级高抗冲再生尼龙 | 201 |
| (六) 废旧尼龙制单体浇铸尼龙 | 201 |
| (七) 废旧尼龙短纤维增强丙烯酸酯复合材料 | 202 |
| 第十章 废旧聚乙烯醇缩丁醛的再生利用 | 203 |
| 第一节 概述 | 203 |
| 第二节 旧聚乙烯醇缩丁醛的再生方法 | 205 |
| (一) 废旧聚乙烯醇缩丁醛膜的脱色 | 205 |
| (二) 聚乙烯醇缩丁醛 (PVB) 树脂色料的脱色再生利用 | 207 |
| (三) 废旧 PVB 膜片/EPDM 共混制备增韧剂 | 208 |
| (四) 回收聚乙烯醇缩丁醛制备片材 | 209 |
| (五) 回收聚乙烯醇缩丁醛防水卷材 | 211 |
| (六) 废旧聚乙烯醇缩丁醛发泡材料 | 212 |
| (七) 橡胶/废旧聚乙烯醇缩丁醛混合胶 | 212 |
| 第十一章 废旧热固塑料的再生利用 | 214 |
| (一) 废旧碳纤维/环氧树脂复合材料的回收 | 214 |
| (二) 溶剂法回收废弃印刷线路板中的环氧树脂 | 216 |
| (三) 废旧聚氨酯和聚丙烯回收料制板材 | 217 |
| (四) 废弃玻纤增强酚醛树脂模塑料生产泡沫玻璃 | 218 |
| (五) 不饱和聚酯树脂制备阻燃材料 | 219 |
| (六) 汽车内饰废酚醛树脂的回收利用 | 219 |
| (七) 废旧聚氨酯鞋底再生聚氨酯复合材料 | 219 |
| (八) 废旧聚氨酯弹性体回收制备聚氨酯保温材料 | 220 |

| | |
|---|------------|
| (九) 废旧聚氨酯回收产物制备聚氨酯胶黏剂 | 221 |
| (十) 酚醛树脂复合废料的回收再生 | 222 |
| (十一) 废旧聚氨酯硬质泡沫制备吸附分离材料 | 223 |
| (十二) 废旧聚氨酯 (PU) 鞋底生产湿法聚氨酯 (PU) 树脂 | 223 |
| (十三) 废聚氨酯和废纤维制备建筑填缝材料 | 224 |
| (十四) 微波解聚废旧聚氨酯再生多元醇 | 225 |
| (十五) 废旧聚氨酯鞋底生产己二酸 | 226 |
| (十六) 回收聚氨酯制备聚氨酯丙烯酸酯液态树脂 | 227 |
| (十七) 不饱和聚酯制品加工中的废料再利用 | 230 |
| (十八) 不饱和聚酯纽扣及工艺品废料用于改性塑料 | 231 |
| (十九) 不饱和聚酯交联废弃物制备模塑料 | 235 |
| 第十二章 废旧泡沫塑料的再生利用 | 237 |
| (一) 模压成型法回收利用热固性 SAN 泡沫塑料 | 237 |
| (二) 废弃 EPS 泡沫制备苯丙乳液的方法 | 240 |
| (三) 回收聚苯乙烯泡沫塑料 | 241 |
| (四) 废旧 PS 塑料生产隔热防水涂料 | 241 |
| (五) 废旧 PS 泡沫制备改性沥青基灌封剂 | 242 |
| (六) 废旧 PS 泡沫塑料生产反光道路标志涂料 | 243 |
| (七) 废旧 PS 泡沫塑料制备膨胀珍珠岩 | 244 |
| (八) 废弃聚苯乙烯泡沫塑料制备胶粉聚苯颗粒保温浆料 | 245 |
| (九) 回收聚苯乙烯泡沫制备聚苯乙烯阻燃板材 | 246 |
| (十) 回收聚苯乙烯泡沫制备阻燃聚苯乙烯泡沫 | 247 |
| (十一) 聚苯乙烯有机溶液增稠剂制备脱漆剂 | 248 |
| (十二) 回收聚苯乙烯泡沫塑料制备农用机械抗菌驱虫防锈剂 | 248 |
| (十三) 废旧泡沫塑料生产防火阻燃聚苯乙烯泡沫 | 249 |
| (十四) 废旧聚苯乙烯泡沫塑料的静电纺丝方法 | 252 |
| (十五) 用废旧轮胎橡胶粉和废旧聚苯乙烯泡沫塑料改性生产 CPVC 和 PVC 产品 .. | 254 |
| (十六) 溶剂再生法回收废聚苯乙烯泡沫塑料 | 255 |
| (十七) 改性废旧聚苯乙烯泡沫塑料涂料 | 257 |
| (十八) 废旧聚苯乙烯泡沫塑料制备溴化聚苯乙烯 | 257 |
| (十九) 废旧聚苯乙烯泡沫塑料生产防锈漆 | 259 |
| (二十) 热固性酚醛包覆的废弃聚苯乙烯颗粒复合泡沫材料 | 259 |
| (二十一) 硬质聚氨酯泡沫塑料的回收 | 260 |
| (二十二) 废旧聚氨酯泡沫塑料制备活性炭 | 261 |
| (二十三) 可降解聚氨酯泡沫塑料 | 262 |
| (二十四) 废旧聚氨酯硬泡制备吸附分离材料 | 263 |
| (二十五) 废硬质聚氨酯泡沫塑料回收利用再生制作保温板 | 264 |
| (二十六) 聚氨酯泡沫塑料的连续化学回收法 | 265 |
| (二十七) 木质素、废旧硬质泡沫粉无氟聚氨酯保温材料 | 265 |
| (二十八) 废弃硬质聚氨酯泡沫塑料的再生 | 266 |
| (二十九) 废旧聚氨酯泡沫和聚丙烯回收料制板材 | 268 |
| (三十) 硬质聚氨酯泡沫塑料的回收利用方法 | 269 |

| | |
|---|------------|
| 第十三章 废旧塑料再生制备木塑复合材料 | 271 |
| (一) HDPE 回收料制备木塑复合材料 | 271 |
| (二) 利乐包/HDPE 阻燃木塑复合材料 | 272 |
| (三) 废旧 HDPE/沙柳木粉复合材料 | 274 |
| (四) 蒙脱土/HDPE 木塑复合材料 | 275 |
| (五) 玄武岩纤维增强橡胶木粉/回收 HDPE 木塑材料 | 276 |
| (六) 再生废旧聚乙烯基木塑复合材料 | 277 |
| (七) 非医疗回收塑料/稻壳粉木塑复合材料的制备 | 278 |
| (八) 废旧聚乙烯 (WPE)/废弃木粉 (WF)/粉煤灰制备木塑模板 | 280 |
| (九) 再生 PET 原位成纤增强 PP 木塑材料 | 280 |
| (十) 聚丙烯木塑材料 | 282 |
| (十一) 马来酸酐接枝聚丙烯 (MAPP) 改性聚丙烯/木塑材料 | 283 |
| (十二) 木纤维与废旧聚苯乙烯复合挤出 | 283 |
| (十三) 废旧 PVC 电缆料制备木塑复合材料 | 285 |
| (十四) 聚氯乙烯基木塑复合材料制备配方 | 287 |
| (十五) 利用植物秸秆和废旧塑料生产木塑复合材料 | 287 |
| (十六) 废旧改性塑料制备的阻燃型木塑复合材料 | 288 |
| (十七) 回收材料制备生产建筑专用塑料模板 | 289 |
| (十八) 木硅塑网络地板 | 290 |
| (十九) 再生塑料基木塑发泡材料 | 291 |
| (二十) 再生木塑复合结构型材 | 291 |
| 参考文献 | 293 |



废旧塑料的回收利用概述

第一节 废旧塑料的再生利用市场现状和前景

一、废旧塑料的再生利用市场现状

中国再生塑料的行业发展和市场景气程度是与全球经济和中国经济发展密切相关的，近两年随着油价的大幅下跌，中国经济发展速度趋缓，因此造成再生塑料产品价格被迫下降、市场需求不足、利润降低，中国的再生塑料行业也面临着严峻的挑战和发展机遇。

为应对全球气候变化和适应产业绿色发展的国际趋势，结合我国面临的资源环境上的巨大压力，循环利用资源和发展循环经济将是转变我国经济发展方式和建设资源节约型社会的重要支撑。在新的经济形势下，再生资源企业，打造自己的经济发展引擎，加快供给侧改革步伐。再生资源与使用原生资源相比，可以大量节约能源、水资源和生产辅料，降低成本，节能减排。我国经济发展要突破资源瓶颈，在保持经济增速的同时，兼顾环境保护，实现建设“美丽中国”的目标，就必须大力发展再生资源产业。

商务部《中国再生资源回收行业发展报告（2016）》中用数据指出，截至2015年底，我国废钢铁、废有色金属、废塑料、废轮胎、废纸、废弃电器电子产品、报废汽车、报废船舶、废玻璃、废电池十大类别的再生资源回收总量约为2.46亿吨，同比增长0.3%。其中，增幅最大的是报废汽车；降幅最大的是报废船舶，见表1-1。

我国废塑料回收总量约为1800万吨，相比于2014年的回收总量2000万吨，同比减少10%，而2014年相比于2013年同比增长46.4%。2015年底回收总值由2014年的1100亿元降至810.0亿元，同比减少26.4%。而2014年回收总值较2013年同比增长23.9%。另据海关统计，2015年废塑料进口735.4万吨，较2014年同比减少10.9%。而2014年较2013年同比增长4.7%。受国内经济下行和国际石油价格大幅下跌的影响，中国塑料加工工业表现不佳，塑料制品产量为7560.82万吨，增速由2013年的8.02%降至2015年的0.95%，国内五大通用合成树脂表观消费量为7005万吨，工程塑料类约为500万吨，国内塑料再生利用量约为2735万吨，国内废塑料回收量约为1800万吨，同比下降10%，预计全球塑料消耗量将以每年8%的速度增长。2030年塑料的年消耗量将达到7亿多吨，而每年塑料废弃量大概在2.6亿~3亿吨。

表 1-1 2014~2015 年我国主要再生资源类别回收利用

| 序号 | 名称 | 单位 | 2014 年 | 2015 年 | 同比增长率/% |
|----|-----------|----|--------|--------|---------|
| 1 | 废钢铁 | 万吨 | 15230 | 14380 | -6.6 |
| | 大型钢铁企业 | 万吨 | 8830 | 8330 | -5.7 |
| | 其他行业 | 万吨 | 6400 | 6050 | -5.5 |
| 2 | 废有色金属 | 万吨 | 798 | 876 | 9.8 |
| 3 | 废塑料 | 万吨 | 2000 | 1800 | -10.0 |
| 4 | 废纸 | 万吨 | 4419 | 4832 | 9.3 |
| 5 | 废轮胎 | 万吨 | 430 | 500.6 | 16.4 |
| | 翻新 | 万吨 | 50 | 28.6 | -42.8 |
| | 再利用 | 万吨 | 380 | 473 | 24.5 |
| 6 | 废弃电器电子产品 | | | | |
| | 数量 | 万台 | 13583 | 15274 | 12.4 |
| | 质量 | 万吨 | 313.5 | 348 | 11.0 |
| 7 | 报废汽车 | | | | |
| | 数量 | 万辆 | 220 | 277.5 | 26.1 |
| | 质量 | 万吨 | 322 | 871.9 | 170.8 |
| 8 | 报废船舶 | | | | |
| | 数量 | 艘 | 142 | 102 | -28.2 |
| | 质量 | 万吨 | 109 | 91 | -16.5 |
| 9 | 废玻璃 | 万吨 | 855 | 850 | -0.6 |
| 10 | 废电池(铅酸除外) | 万吨 | 9.5 | 10 | 5.3 |

近几年,废塑料价格普遍下跌,行业利润呈下滑趋势;同时受经济、市场影响,再生塑料与原生塑料价差进一步缩小。环保行业整顿导致上游原料货源减少、再生塑料生产厂家采购成本上升,加之人工等运营成本的提高,厂家盈利能力下滑,行业进入微利时代。

截至 2015 年底,中国再生资源回收企业有 5000 多家,回收网点 16 万个(未登记注册或临时回收网点近 40 万个),回收加工处理工厂 3000 多家,从业人员 140 万人。2015 年,我国废塑料回收利用企业的开工率在 50% 左右。废塑料回收利用企业大多是中小型企业,家庭作坊式的个体户占一定比例,这些作坊在大城市周边及城乡结合部扎堆经营,基本实现了产业细化和产业链延伸。大中型废塑料加工企业以进口废塑料为原料居多,主要分布于沿海地区,见图 1-1。

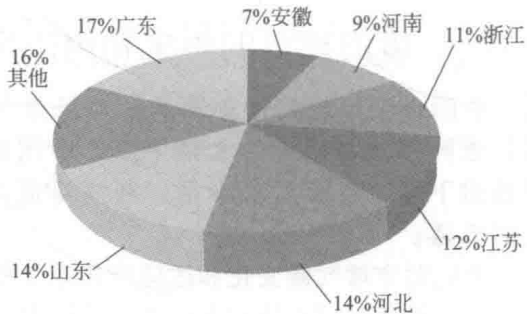


图 1-1 我国再生塑料地区产能分布

二、废旧塑料的再生利用发展前景

我国塑料制品的需求不断增加,大量能源被消耗,而废塑料的回收及再生利用是当前提倡低碳经济社会的需求,同时也是迫切面对的环境保护的需要。简单以 PVC 回收为例,有人算了这样一笔账。收集和机械化循环再生 1t 废旧 PVC 将生成大约 120kg 二氧化碳,这些循环再生材料可以直接代替原材料应用于产品中。来自 Plastics Europe 的环境数据显示,使用原材料(盐类和石油)生产 1t 纯 PVC 材料将产生 1900kg 二氧化碳。这样,使用循环再生材料将比使用纯原材料节省 94% 的二氧化碳排放量。对于再生行业本身来说,这是一个很好的商机。

2016 年,商务部会同国家发展改革委、工业和信息化部、环境保护部、住房城乡建设部、供销合作总社联合印发了《关于推进再生资源回收行业转型升级的意见》(商流通函〔2016〕206 号),提出推广“互联网+回收”的新模式,探索两网协同发展的新机制,提高组织化的新途径,探索逆向物流的新方式、以鼓励应用分拣加工新技术等推进再生资源回收行业转型升级的意见。在未来几年内,在一系列利好政策推动和市场引导下,我国再生资源回收行业将向现代化、集约化、科学化方向发展。

第二节 废旧塑料再生方法

废旧塑料是一种通俗的说法，并不是指废的、旧的和没用的塑料制品。绝大部分塑料制品，特别是大量的、一次性使用的塑料，使用后其塑料材料本身的性能并没有大的改变，因此完全可能回收后用适当的方法重新加工成塑料制品后再次使用。据中华人民共和国环境保护部统计，2011年，我国仅废旧一次性塑料饭盒及各种泡沫包装就高达9500万吨，报废家电、汽车废旧塑料为6500万吨，再加上其他废弃塑料，总量已近2亿吨，而回收总量仅为1500万吨，回收率不及10%。而日本废旧塑料的回收率已达到26%。

在我国，废旧塑料回收作为环保朝阳产业，发展潜力大，价格优势突出，经济效益好。针对国内的生产和技术现状，系统地进行废旧塑料再生技术研究和开发，是解决废旧塑料问题的有效方法，是塑料行业持续发展的必由之路。

消费后塑料的处理有下述几种途径：填埋、焚烧、堆肥化、回收再生、降解。塑料回收后再生方法有：熔融再生、热裂解、能量回收、回收化工原料等。

一、熔融再生

熔融再生是将废旧塑料重新加热塑化而加以利用的方法。从废旧塑料的来源分，此法又可分为两类：一是由树脂厂、加工厂的边角料回收的清洁废塑料的回收；二是经过使用后混杂在一起的各种塑料制品的回收再生。前者称单纯再生，可制得性能较好的塑料制品；后者称为复合再生，一般只能制备性能要求相对较差的塑料制品，且回收再生过程较为复杂。在熔融再生的过程中，还可以进行物理改性和化学改性。

1. 物理改性

物理改性主要是指将再生塑料与其他聚合物或助剂通过机械共混，如增韧、增强、并用、复合活性粒子填充的共混改性，使再生制品的力学性能得到改善或提高，可以制作档次较高的再生制品。这类改性再生利用的工艺路线较复杂，有的需要特定的机械设备。

(1) 填充改性 是指通过添加填充剂，使废旧塑料再生利用。此改性方法可以改善回收的废旧塑料性能、增加制品的收缩性、提高耐热性等。填充改性的实质是使废旧塑料与填充剂共混，从而使混合体系具有所加填充剂的性能。填充剂（也称填料）的品种有很多，按化学组成为无机（如碳酸、陶土）和有机（如木粉、纤维）；按形状分为粉状、纤维状、片状、带状、织物、中空微孔等；按用途分为补强性（可改进物理、力学性能，赋予特殊功能性）和增量性（增加体积或质量，以降低成本）。

(2) 增强改性 回收的通用塑料拉伸强度明显降低，要提高其强度，可以通过加入玻璃纤维、合成纤维、天然纤维的方法，扩大回收塑料的应用范围。回收的热塑性塑料经过纤维增强改性后，其强度、模量大大提高，并明显改善了热塑性塑料的耐热性、耐蠕变性和耐疲劳性，其制品成型收缩率小，废弃的热塑性玻璃纤维增强塑料可以反复加工成型。

影响复合材料性能的还有纤维在塑料基质中的分散程度和取向：分散越均匀，取向程度越高，复合材料的性能越好。分散均匀性在选定设备后主要取决于混炼工艺，并且使用适当的表面处理剂（或偶联剂）进行处理，能够增加与树脂的黏合性，纤维在热塑性塑料中的分散取向也得到一定提高。

(3) 增韧改性 塑料制品在使用过程中，由于受到光、热、氧等的作用，会发生老化现象，使树脂大分子链发生降解，所以回收的塑料力学性能发生了很大变化，耐冲击性随老化程度的不同而不同，改善回收塑料耐冲击性的途径之一是使用弹性体或共混型热塑性弹性体

与回收料共混进行增韧改性。弹性体有顺丁橡胶、三元乙丙橡胶、SBS、丁苯橡胶、丁基橡胶等；还可以使用非弹性体，如高密度聚乙烯、EVA、ABS、氯化聚乙烯、活化有机粒子等，对回收塑料进行增韧改性，从而提高其耐冲击性。

2. 化学改性

回收的废旧塑料，不仅可以通过物理改性的方法扩大其用途，还可以通过化学改性拓宽回收塑料的应用渠道，提高其利用价值。化学改性包括氯化改性、交联改性、接枝共聚改性等。

(1) 氯化改性 氯化改性即对聚烯烃树脂进行氯化，制得因含氯量不同而特性各异的氯化聚烯烃。废旧聚烯烃通过氯化可得到阻燃、耐油等良好特性，产品具有广泛的应用价值。例如，废旧聚乙烯膜的氯化改性，将废 PE 膜进行洗涤、脱水、粉碎后，送入反应釜，进行氯化，可制得氯化聚乙烯（CPE）。用废旧聚乙烯通过氯化得到的产品，具有良好的性能，可以用来代替市售 CPE。又如，废旧聚氯乙烯的氯化改性。废旧 PVC 的缺点之一就是最高的连续使用温度仅在 65℃ 左右，经过氯化改性的聚氯乙烯最高连续使用温度可达 105℃。除了提高使用温度外，强度和模量等性能也得到了改善；同时氯化改性后还可用于涂料和胶黏剂。

(2) 交联改性 回收的聚烯烃，可通过交联大大提高其拉伸性能、耐热性能、耐环境性能、尺寸稳定性能、耐磨性能、耐化学性能等。

交联有三种类型：辐射交联、化学交联、有机硅交联。聚合物交联度可通过加交联剂的多少或辐射时间长短来控制。交联度不同，其力学性能也不同。轻度交联的聚烯烃可具有热塑性，易于加工；交联度比较高的聚合物，其大分子链之间已形成三维网络结构，成为热固性材料，力学性能改善相当显著。因此，交联聚合物的加工方法有两种：一种是在聚合物熔点之上，加入交联剂，混合均匀，在低于交联剂分解温度情况下进行造粒，最后成型与交联反应一步完成；另一种是在低于交联剂分解温度情况下成型，然后在高于交联温度情况下完成交联。目前比较先进的技术是利用反应挤出技术，将聚合物和交联剂在双螺杆挤出机中进行混合和交联反应，并直接制成产品，如制造管材。

(3) 接枝共聚改性 废旧塑料的化学改性还有接枝、嵌段等共聚改性。目前实用性较强的属回收聚丙烯的接枝共聚改性，即用接枝单体通过一定接枝方法对聚丙烯进行接枝，接枝改性的聚丙烯性能取决于接枝物的含量、接枝链的长度等，其基本性能与聚丙烯相似，但其他性能有很大改变。接枝改性聚丙烯的目的是提高聚丙烯与金属、极性塑料、无机填料的黏结性或增容性。对废旧聚丙烯再生材料而言，具有两点意义：一是当回收的聚丙烯料中混杂着部分 PVC 等极性树脂制品时，可不必分离而直接实施共混，在混塑过程中进行接枝改性反应，使 PP 与 PVC 相间增容；二是经接枝改性后的 PP 再生料可拓宽其应用范围，不仅可与极性高聚物制品共混，而且可以较大量地进行填充或增强改性，以达到提高再生制品的性能并降低生产成本的目的。

二、化学回收法

化学回收是指利用化学手段使固态废旧塑料重新转化为单体、燃料或化工原料，仅回收废旧塑料中所含的化学成分的方法，也称为二级回收。化学回收大致分热分解和化学分解两种。热分解是在高温下，使聚合物裂解得到油品和气体，用于化工原料或燃料的方法，有隔绝空气状态下的热分解法和氢气气氛中的热分解法等；化学分解则是回收单体的方法，按所使用的催化剂或溶剂的不同可分为水解、醇解等。

理论上，化学回收得到的单体和化工原料都具有很高的经济价值，单体又可合成得到塑料，如此反复，实现理想的循环利用。但目前化学回收的实际应用还远比不上物理回收，即使在发达国家，化学回收的比例也不大，原因并不仅仅是化学回收在技术和工艺上不成熟，事实上化学回收的有些技术和工艺已很成熟，在实际生产上已有大规模应用，主要原因在于其设备、工艺路线复杂，造价昂贵，以及有些技术需要高能耗等，造成回收成本的居高不下，限制

了其实际应用。但是，化学回收是最理想的回收方法，可实现真正意义的资源循环利用，随着石油资源的日趋紧张以及技术工艺上的不断改进，化学回收的发展空间非常巨大。

1. 热分解

所谓热分解，是指有机高分子物质在还原性气体中以及高温下分解为低分子的工业气体、燃料油或焦炭的过程。热力学理论表明：要使高分子主链断裂，降解成小分子，需要较高的能量，温度要在 500℃ 甚至以上才能完成，这就使得生产工艺和设备都很复杂，能耗很大，生产成本很高，因此纯粹的热解工艺商业价值不大。真正有前途的是催化热解，因为催化剂可以大大降低热解温度，提高产品的转化率，从而提升该工艺的经济性。热分解法适用于 PE、PP、PS 等非极性塑料和一般废弃物中混杂废塑料的分解，特别是塑料包装材料如薄膜包装袋等，使用后污染严重，难以用机械再生法回收，可以通过热分解来进行化学回收。

由于塑料是热的不良导体，要将热量从反应器内壁的塑料传导到反应器中间的塑料，需要花费很长时间，效率很低，而且反应器内壁的塑料由于长时间高温易炭化而粘接在内壁上，为解决这一问题，开发出不同的设备和工艺。一般根据分解产物的不同分为油化法、汽化法和炭化法 3 种工艺。

油化法要求全部以废旧塑料为原料，不能混有其他非塑料杂质，热分解温度较低，约为 450~500℃，主要回收产品为油类。油化法适合处理的废旧塑料主要有 PE、PP、PS、PM-MA 等，不适用于 PVC、PA 等塑料。主要工艺见表 1-2。

表 1-2 油化工艺中各种方法的比较

| 方法 | 特点 | | 优点 | 缺点 | 产物特征 |
|------|-----------|------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------|
| | 熔融 | 分解 | | | |
| 槽式法 | 外部加热或不加热 | 外部加热 | 技术较简单 | 加热设备和分解炉大；传热面易结焦；因废旧塑料熔融量大，紧急停车困难 | 轻质油、气(残渣) |
| 管式炉法 | 用重质油溶解或分解 | 外部加热 | 加热均匀，油回收率高；分解条件易调节 | 易在管内结焦；需均质原料 | |
| 流化床法 | 不需要 | 内部加热(部分燃烧) | 不需熔融；分解速度快；热效率高；容易大型化 | 分解产物中含有有机氧化物，但可回收其中的馏分 | 油、废气 |
| 催化法 | 外部加热 | 外部加热(用催化剂) | 分解温度低，结焦少；气体产率低 | 炉与加热设备大；难于处理 PVC 塑料；应控制异物混入 | |

2. 解聚回收

废旧塑料的化学解聚就是使用催化剂或者溶剂使废旧塑料重新还原为单体的过程，实际上是聚合的逆反应，它有水解和醇解等方法。

化学解聚的产物组成较为简单，且易于控制，生产设备也相对简单。通常分解产物几乎不需要分离和精制。不过，化学解聚法要求所提供的废旧塑料相对清洁和单一，混杂废旧塑料不适用。对于大多数结构稳定的碳链和杂链塑料，如聚烯烃等，其化学结构很稳定，是不能进行化学解聚的；理论上，适合化学解聚的是具有对水或醇敏感基团的聚合物，如酰胺、酯、腈、缩醛，实际应用中主要有聚氨酯类和热塑性聚酯类。此外，还有聚酰胺类、聚甲基丙烯酸甲酯（即有机玻璃）、聚甲醛等。

所谓水解，就是在水的作用下使缩聚物或加聚物分解成为单体的过程。因为水解与缩合互为逆反应，只要缩聚物或加聚物中含有对水解反应敏感的基团，均可被水解。这类聚合物有 PU、热塑性聚酯（PET、PBT）、FC 和 PA。它们在通常的使用条件下是稳定的，因此这类塑料废弃物必须在特殊条件下才能够进行水解，得到单体。下面是对 PU 进行水解的几个实例。

将低密度的 PU 泡沫与 160~190℃ 的过热蒸汽混合 15min 以上，转换成密度大于水的液体，除甲苯二胺和 PP 氧化物外，还有多元醇（聚酯型或聚醚型）。多元醇可直接用于新泡沫的成型，而胺类则必须采用化学方法转化为异氰酸酯才能使用。

通用电气公司 PU 泡沫水解工艺：废泡沫块经粉碎后投入反应器，在温度约 315.6℃ 的条件下与蒸汽接触进行水解。多元醇为含水单体，经冷却和过滤后可直接回收。蒸汽从反应器进入喷雾冷凝器内，与苯胺或苯甲醇接触。各种溶剂回收过程中有水、溶剂和有机物的分离，蒸馏有机溶剂可分离出主产物二胺、副产物乙二醇和焦油。

图 1-2 所示的是德国 Leverkusen 公司的一种废旧塑料回收用连续水解反应器。该设备以双螺杆挤出机为反应室，能耐 300℃ 高温。

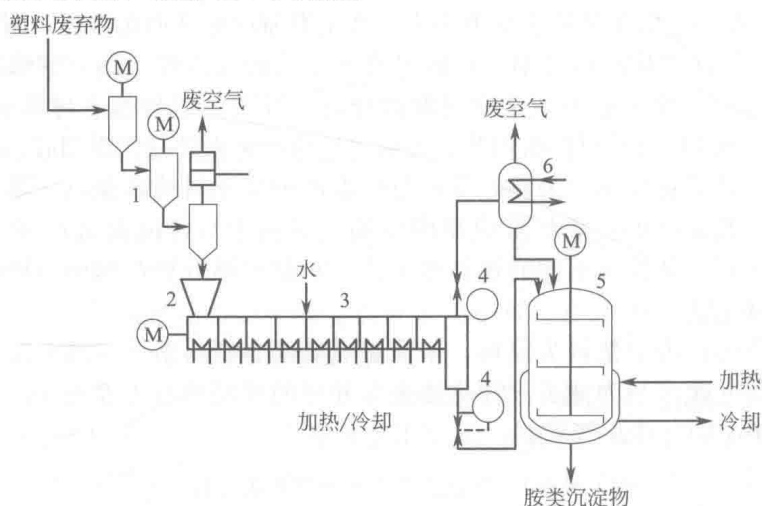


图 1-2 以双螺杆挤出机为反应器的连续水解反应器

1—加料装置；2—料斗；3—双螺杆挤出机；4—减压阀；5—蒸馏塔；6—冷却器

醇解是利用醇类的羟基来解聚某些聚合物及回收原料的方法，这种方法已成熟地应用于 PU、PET 等塑料。PU 水解后产生胺和乙二醇的混合物，二者需要分离才可回收再用，而醇解法就无需这道工序，过程相当简单。废旧 PET 醇解回收可获得对苯二甲酸乙二醇酯和乙二醇，用它们再生产 PET，其质量与新料相同。在 PET 的醇解中，有以甲醇为溶剂的甲醇分解法、以乙二醇为溶剂的糖原醇解法和用酸或碱性水溶液的加氢分解法等。图 1-3 为杜邦公司开发的用甲醇分解废旧 PET 的流程。

三、能量回收

大多数塑料是烃类高分子化合物，能燃烧并产生很高的热值。例如，PS 和 PE 等高燃烧热值的废旧塑料已超过燃料油和煤的平均燃烧热值，见表 1-3。能量回收就是获取其燃烧产生的高热量并加以有效利用，也称为塑料的四级回收。废旧塑料的能量回收一般不用纯废旧塑料，而是用城市固体垃圾、工业垃圾等焚烧，废旧塑料在这些垃圾中约占 15%~20%（体积分数），或 5%~8%（质量分数），是主要的热量提供者。据报道，每 10t 城市固体废弃物燃烧 1h，可得到 33t 压力为 3.45MPa、温度为 204℃ 的蒸气（相当于燃烧 3080m³天然气或 1956L 燃料油的能量）。但城市固体垃圾焚烧时的能量回收往往并不是采用这种处理方法的主要目的，所以也有人认为这种方法不是真正的塑料回收方法。然而，废旧塑料虽然可以循环回收，但循环的次数是有限的，并不能永远循环下去，而且有些废旧塑料并不具备回收价值，所以能量回收也是一种重要的回收方法。

表 1-3 常见废塑料的热值

| 废塑料 | 热值/(kJ/kg) | 废塑料 | 热值/(kJ/kg) |
|--------|------------|-----|------------|
| PA | 42393 | PF | 55185 |
| PP | 77084 | 废纤维 | 24671 |
| PU(泡沫) | 47511 | 报纸 | 29146 |