

# 废旧塑料回收利用 实用技术

齐贵亮 主编

# 废旧塑料回收利用实用技术

主    编：齐贵亮

副 主 编：梁振河  宋秀敏

编写人员：齐贵亮  梁振河  宋秀敏  张永爱

          韦亚利  王喜梅  王鲁飞  付广慧

          孙  健  杜厚波  贾洪旭  夏  敏

机 械 工 业 出 版 社

# 前 言

近年来,由于高分子合成技术的进步,世界塑料工业发展迅速,越来越多的塑料制品走进千家万户,成为人们日常生活中必不可少的重要组成部分。然而,随着塑料制品的大量使用,废弃塑料量急剧增加,在我们享受着塑料材料所带来的方便、舒适生活的同时,也将对资源 and 环境产生巨大压力,所以科学有效地回收和利用废旧塑料,不仅可以作为 21 世纪的新能源,而且是保护环境、实现可持续发展的有效手段,是发展循环经济的一项重要内容。

为了普及废旧塑料回收利用技术的基本知识,宣传并推广废旧塑料回收利用技术研究及应用的新成果,我们编写了《废旧塑料回收利用实用技术》一书,详细介绍了废旧塑料回收利用技术中的鉴别技术、分离技术、清洗干燥技术、粉碎增密技术和配料造粒技术;聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、热塑性聚酯、聚氨酯等废旧塑料的直接再生利用技术、改性再生利用技术;废旧塑料的裂解转化利用技术及其焚烧处理与热能利用技术。

本书突出实用性、先进性和可操作性,且信息量大,数据准确,所涉及的材料新,工艺先进,内容全面,资料充实,语言精练,通俗易懂,简单易记,是一本实用性强的专业技术性读物。可供从事废旧塑料回收、关心废旧塑料处理技术的人员,从事塑料研究、生产、产品设计、销售、管理的工程技术人员参考;也可供大专院校师生、科研单位的工程技术人员借鉴、参考和应用。

本书内容参阅了部分近年发表在国内外主要期刊的研究论文和技术资料以及近年公开的专利技术,同时还参阅了本行业许多资深专家的专著,在此向文献的原作者表示衷心感谢!

由于编者水平有限,本书难免有不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第 1 章 概述 ..... 1

- 1.1 塑料的概念及其分类 ..... 1
- 1.2 废旧塑料的来源 ..... 3
- 1.3 废旧塑料的危害 ..... 6
- 1.4 我国再生塑料行业的现状 ..... 8
- 1.5 废旧塑料处理存在的  
问题及发展方向 ..... 8

## 第 2 章 废旧塑料的回收技术 ..... 10

- 2.1 废旧塑料的鉴别技术 ..... 10
  - 2.1.1 物理鉴别法 ..... 10
  - 2.1.2 化学鉴别法 ..... 17
  - 2.1.3 光谱分析鉴别法 ..... 23
  - 2.1.4 鉴别实例 ..... 29
- 2.2 废旧塑料的分离技术 ..... 33
  - 2.2.1 分离方法 ..... 33
  - 2.2.2 分离设备 ..... 40
  - 2.2.3 分离实例 ..... 41
- 2.3 废旧塑料的清洗和干燥技术 ..... 45
  - 2.3.1 清洗方法 ..... 45
  - 2.3.2 清洗原理和基本过程 ..... 47
  - 2.3.3 清洗剂 ..... 49
  - 2.3.4 清洗实例 ..... 52
  - 2.3.5 废旧塑料的干燥 ..... 53
- 2.4 废旧塑料的粉碎和增密技术 ..... 55
  - 2.4.1 粉碎和增密的基本形式 ..... 55
  - 2.4.2 粉碎设备的类型 ..... 56
  - 2.4.3 粉碎设备的选择原则 ..... 60
  - 2.4.4 废旧塑料的增密 ..... 61
- 2.5 废旧塑料的配料和造粒技术 ..... 62
  - 2.5.1 配方的确定 ..... 62
  - 2.5.2 废旧塑料的相容性 ..... 68
  - 2.5.3 废旧塑料的混合 ..... 69

- 2.5.4 废旧塑料的塑炼 ..... 70

- 2.5.5 废旧塑料的造粒 ..... 76

- 2.6 废旧塑料的回收分级 ..... 81

## 第 3 章 废旧塑料直接 再生利用技术 ..... 82

- 3.1 聚乙烯废旧塑料直接  
再生利用技术 ..... 82
  - 3.1.1 废旧聚乙烯制品  
用于生产再生粒料 ..... 82
  - 3.1.2 废旧聚乙烯薄膜用于生产  
再生聚乙烯粉末 ..... 84
  - 3.1.3 聚乙烯再生料  
生产塑料鞋楦 ..... 85
  - 3.1.4 用回收 PE 膜制备  
聚乙烯盆 ..... 85
  - 3.1.5 用回收 HDPE 料  
生产周转箱 ..... 85
  - 3.1.6 用回收 PE 料  
生产塑料桶 ..... 86
  - 3.1.7 用 PE 再生料制备  
全塑铅笔 ..... 86
  - 3.1.8 回收废旧 LDPE 生产  
蔬菜包装袋 ..... 87
  - 3.1.9 用 LDPE 再生料  
生产塑料管材 ..... 89
  - 3.1.10 废旧聚乙烯塑料薄膜用作  
道路沥青的改性剂 ..... 90
- 3.2 聚丙烯废旧塑料直接  
再生利用技术 ..... 92
  - 3.2.1 用废旧聚丙烯再生料  
生产聚烯烃填充母料 ..... 92
  - 3.2.2 用废旧聚丙烯再生料

|                                   |     |                                     |            |
|-----------------------------------|-----|-------------------------------------|------------|
| 生产聚丙烯编织袋 .....                    | 93  | 3.5.4 废旧聚酯瓶片料纺制油毡<br>基布用涤纶短纤维 ..... | 117        |
| 3.2.3 废旧聚丙烯制备打包带 .....            | 95  | 3.5.5 废弃聚酯生产棉型<br>涤纶短纤维 .....       | 121        |
| 3.2.4 废旧聚丙烯纤维制备<br>鞋底中层板材 .....   | 97  | 3.6 聚氨酯废旧塑料直接<br>再生利用技术 .....       | 122        |
| 3.3 聚氯乙烯废旧塑料直接<br>再生利用技术 .....    | 97  | 3.6.1 热压成型 .....                    | 123        |
| 3.3.1 用PVC回收料<br>生产塑料凉鞋 .....     | 98  | 3.6.2 粘合加压成型 .....                  | 123        |
| 3.3.2 回收PVC膜吹塑<br>成型再生薄膜 .....    | 99  | 3.6.3 挤出成型 .....                    | 125        |
| 3.3.3 用废旧PVC农膜制备<br>一般包装膜 .....   | 100 | 3.6.4 用作填料 .....                    | 125        |
| 3.3.4 用PVC人造革废料制取<br>软质片材 .....   | 100 | 3.6.5 用作改性剂 .....                   | 125        |
| 3.3.5 用PVC薄膜边角料<br>制备泡沫人造革 .....  | 101 | <b>第4章 废旧塑料改性<br/>利用技术 .....</b>    | <b>130</b> |
| 3.3.6 用回收PVC<br>料挤出管材 .....       | 101 | 4.1 聚乙烯废旧塑料<br>改性利用技术 .....         | 130        |
| 3.4 聚苯乙烯废旧塑料直接<br>再生利用技术 .....    | 102 | 4.1.1 聚乙烯废旧塑料<br>改性方法 .....         | 130        |
| 3.4.1 废旧聚苯乙烯泡沫<br>塑料的来源及其性能 ..... | 102 | 4.1.2 再生聚乙烯共混改性<br>生产农用地膜 .....     | 134        |
| 3.4.2 废旧聚苯乙烯泡沫塑料<br>粉碎后直接利用 ..... | 103 | 4.1.3 废旧聚乙烯填充改性<br>生产不透明蓄电池槽 .....  | 135        |
| 3.4.3 加热熔融回收<br>聚苯乙烯树脂 .....      | 104 | 4.1.4 聚乙烯再生料生产<br>铝塑复合板 .....       | 137        |
| 3.4.4 溶剂溶解回收聚<br>苯乙烯树脂 .....      | 107 | 4.1.5 废旧聚乙烯塑料为<br>芯层制备复合板 .....     | 140        |
| 3.4.5 悬浮聚合回收聚<br>苯乙烯树脂 .....      | 111 | 4.1.6 废旧聚乙烯制备轻质<br>仿汉白玉建筑装饰材料 ..... | 143        |
| 3.5 聚酯废旧塑料直接<br>再生利用技术 .....      | 114 | 4.1.7 废旧聚乙烯制备<br>半硬质塑料地板 .....      | 144        |
| 3.5.1 废旧聚酯粉碎<br>后直接利用 .....       | 114 | 4.1.8 废旧聚乙烯制备塑料<br>黑板 .....         | 145        |
| 3.5.2 废旧聚酯薄膜熔融<br>挤出制备聚酯切片 .....  | 115 | 4.1.9 废旧聚乙烯和植物秸<br>秆粉制备再生板材 .....   | 146        |
| 3.5.3 废旧聚酯瓶直接<br>回收PET纯料 .....    | 117 | 4.1.10 废旧聚乙烯制备<br>高分子环保型板材 .....    | 146        |
|                                   |     | 4.1.11 废旧聚乙烯制备<br>复合材料井盖 .....      | 147        |
|                                   |     | 4.1.12 废旧聚乙烯塑料和植物                   |            |

|                       |     |                     |     |
|-----------------------|-----|---------------------|-----|
| 纤维粉制备复合板材 .....       | 148 | 4.2.14 聚丙烯废旧塑料改性制备  |     |
| 4.1.13 废旧聚乙烯制备聚乙烯     |     | 高分子环保型材 .....       | 177 |
| 基本塑复合材料 .....         | 149 | 4.2.15 聚丙烯废旧塑料改性    |     |
| 4.1.14 橡胶增韧废旧聚乙烯      |     | 制备高分子环保型            |     |
| 制备聚乙烯基本塑              |     | 防滑地砖 .....          | 178 |
| 复合材料 .....            | 150 | 4.2.16 聚丙烯废旧塑料改性制备  |     |
| 4.1.15 废旧聚乙烯制备        |     | 环保型实芯木塑门窗 .....     | 179 |
| 木塑再生板材 .....          | 151 | 4.2.17 废旧聚丙烯制备接枝    |     |
| 4.1.16 聚乙烯废旧塑料氯化或     |     | 共聚物胶粘剂 .....        | 180 |
| 氯磺酰化反应制备含氧            |     | 4.3 聚氯乙烯废旧塑料        |     |
| 氯化聚烯烃 .....           | 152 | 改性利用技术 .....        | 183 |
| 4.2 聚丙烯废旧塑料           |     | 4.3.1 聚氯乙烯废旧        |     |
| 改性利用技术 .....          | 153 | 塑料改性方法 .....        | 183 |
| 4.2.1 聚丙烯废旧塑料         |     | 4.3.2 聚氯乙烯废旧塑料改性    |     |
| 改性方法 .....            | 153 | 制备 PVC 电缆料 .....    | 185 |
| 4.2.2 聚丙烯废旧塑料改性       |     | 4.3.3 聚氯乙烯废旧塑料改性    |     |
| 制备注射产品专用料 .....       | 157 | 制备 PVC 人造革 .....    | 186 |
| 4.2.3 聚丙烯废旧塑料增强改性     |     | 4.3.4 聚氯乙烯废旧电缆料改性   |     |
| 制备模压产品专用料 .....       | 158 | 制备木塑复合板材 .....      | 188 |
| 4.2.4 聚丙烯废旧塑料共混改性     |     | 4.3.5 聚氯乙烯废旧塑料改性    |     |
| 制备热塑性弹性体 .....        | 160 | 制备木塑复合片材 .....      | 189 |
| 4.2.5 短玻璃纤维增强回收       |     | 4.3.6 聚氯乙烯废旧塑料改性制备  |     |
| 聚丙烯废旧料 .....          | 162 | 再生硅塑粉笔书写黑板 ...      | 190 |
| 4.2.6 长玻璃纤维增强回收       |     | 4.3.7 聚氯乙烯废旧塑料改性    |     |
| 聚丙烯废旧料 .....          | 164 | 制备防水卷材 .....        | 191 |
| 4.2.7 废旧编织袋回收料改性      |     | 4.3.8 粉煤灰高填充聚氯乙烯废旧  |     |
| 制备模压聚丙烯管材 .....       | 166 | 塑料制备防水卷材 .....      | 191 |
| 4.2.8 废旧聚丙烯制备瓶盖 ..... | 168 | 4.3.9 粉煤灰填充聚氯乙烯废旧   |     |
| 4.2.9 聚丙烯废旧塑料改性       |     | 塑料制备复合材料 .....      | 193 |
| 生产聚丙烯纤维 .....         | 170 | 4.3.10 聚氯乙烯废旧塑料     |     |
| 4.2.10 聚丙烯废旧塑料改性      |     | 制备塑橡胶防水胶 .....      | 193 |
| 制备发泡板材 .....          | 171 | 4.3.11 聚氯乙烯废旧塑料制备   |     |
| 4.2.11 聚丙烯废旧塑料改性      |     | 农药、肥料包衣 .....       | 194 |
| 制备复合材料 .....          | 172 | 4.3.12 聚氯乙烯废旧塑料     |     |
| 4.2.12 聚丙烯废旧塑料改性制备    |     | 改性制备防滑垫板 .....      | 195 |
| 塑木建筑模板 .....          | 176 | 4.3.13 聚氯乙烯废旧塑料     |     |
| 4.2.13 聚丙烯废旧塑料与工业     |     | 制备无胎卷材 .....        | 196 |
| 石膏制备复合板材 .....        | 177 | 4.3.14 聚氯乙烯废旧塑料与废旧橡 |     |

|                                         |     |                                      |            |
|-----------------------------------------|-----|--------------------------------------|------------|
| 胶共混制备新型材料 .....                         | 198 | 4.5.9 利用废聚酯制备<br>聚氨酯弹性体 .....        | 273        |
| 4.3.15 聚氯乙烯废旧塑料制备<br>硬质 PVC 制品的原料 ..... | 199 | 4.5.10 利用废聚酯塑料<br>制备磺化高聚物 .....      | 276        |
| 4.3.16 聚氯乙烯废旧塑料氯化改性制<br>备含氧氯化聚烯烃 .....  | 200 | 4.6 聚氨酯废旧塑料改性<br>利用技术 .....          | 276        |
| 4.3.17 聚氯乙烯废旧塑料制备<br>再生节能材料 .....       | 201 | 4.6.1 废聚氨酯化学降解 .....                 | 276        |
| 4.4 聚苯乙烯废旧塑料<br>改性利用技术 .....            | 202 | 4.6.2 废旧聚氨酯醇解制备<br>双组分聚氨酯胶粘剂 .....   | 280        |
| 4.4.1 聚苯乙烯废旧塑料<br>改性制备涂料 .....          | 202 | 4.6.3 废旧聚氨酯泡沫<br>生产涂料树脂 .....        | 283        |
| 4.4.2 聚苯乙烯废旧塑料<br>改性制备胶粘剂 .....         | 228 | 4.6.4 废旧聚氨酯与丙烯酸盐接枝<br>共聚合成高吸水性树脂 ... | 284        |
| 4.4.3 聚苯乙烯废旧塑料共混改性<br>制备聚合物合金 .....     | 246 | 4.6.5 废旧聚氨酯屑用于铺筑<br>弹性渗透性路面 .....    | 284        |
| 4.4.4 聚苯乙烯废旧塑料增强改性<br>制备轻质复合材料 .....    | 247 | 4.6.6 废旧聚氨酯制备<br>建筑填缝材料 .....        | 286        |
| 4.4.5 聚苯乙烯废旧塑料<br>制备专用材料 .....          | 250 | 4.6.7 废旧聚氨酯<br>制备防水卷材 .....          | 287        |
| 4.4.6 聚苯乙烯废旧塑料<br>其他改性利用技术 .....        | 251 | 4.6.8 废旧聚氨酯泡沫制备<br>高性能吸声材料 .....     | 288        |
| 4.5 聚酯废旧塑料改性利用技术 ...                    | 253 | 4.6.9 废旧聚氨酯制备硬度、密度<br>可控的新材料 .....   | 289        |
| 4.5.1 聚酯废旧塑料共混<br>改性利用技术 .....          | 253 | <b>第 5 章 废旧塑料裂解转化<br/>利用技术 .....</b> | <b>291</b> |
| 4.5.2 聚酯废旧塑料填充<br>改性利用技术 .....          | 256 | 5.1 废旧塑料裂解机理 .....                   | 291        |
| 4.5.3 玻璃纤维增强<br>改性 PET 回收料 .....        | 258 | 5.2 废旧塑料裂解方法 .....                   | 292        |
| 4.5.4 利用废 PET 聚酯<br>制备单体原料 .....        | 259 | 5.2.1 热裂解法 .....                     | 292        |
| 4.5.5 利用废 PET 聚酯<br>制备涂料 .....          | 262 | 5.2.2 催化裂解法 .....                    | 294        |
| 4.5.6 利用废 PET 聚酯<br>制备增塑剂 .....         | 267 | 5.2.3 热解-催化改质法 .....                 | 295        |
| 4.5.7 利用废 PET 聚酯<br>制备聚酯树脂 .....        | 269 | 5.2.4 催化热解-催化改质法 .....               | 297        |
| 4.5.8 利用废聚酯瓶制备<br>醇酸树脂 .....            | 272 | 5.2.5 超临界水法 .....                    | 297        |
|                                         |     | 5.2.6 与煤共液化裂解法 .....                 | 301        |
|                                         |     | 5.2.7 与煤焦油共液化裂解法 ...                 | 301        |
|                                         |     | 5.3 废旧塑料裂解回收化工原料 ...                 | 302        |
|                                         |     | 5.3.1 回收苯乙烯 .....                    | 302        |
|                                         |     | 5.3.2 回收甲基丙烯酸甲酯 .....                | 303        |
|                                         |     | 5.3.3 回收多羟基化合物                       |            |

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| 及胺类 .....                                     | 303 |
| 5.3.4 回收苯酚 .....                              | 304 |
| 5.3.5 回收芳香化合物 .....                           | 304 |
| 5.4 废旧塑料裂解产油技术 .....                          | 305 |
| 5.4.1 油化工艺的分类 .....                           | 305 |
| 5.4.2 废旧塑料裂解油化的<br>主要影响因素 .....               | 311 |
| 5.4.3 废旧塑料裂解油化工艺存在<br>的问题及其对策 .....           | 315 |
| 5.5 废旧塑料裂解产蜡技术 .....                          | 317 |
| 5.5.1 聚乙烯蜡的性能、应用与<br>市场供求情况 .....             | 317 |
| 5.5.2 聚乙烯类废旧塑料制备<br>聚乙烯蜡的理论基础和<br>经济可行性 ..... | 318 |
| 5.5.3 国内外技术进展 .....                           | 318 |
| 5.6 废旧塑料裂解产气技术 .....                          | 319 |
| 5.6.1 裂解汽化装置 .....                            | 320 |
| 5.6.2 裂解汽化工艺 .....                            | 323 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 5.7 废旧塑料裂解炭化技术 .....        | 323 |
| 5.7.1 聚氯乙烯废旧<br>塑料的炭化 ..... | 324 |
| 5.7.2 其他几种废塑料的炭化 .....      | 325 |

## 第6章 废旧塑料的焚烧处理与

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 热能利用技术 .....                    | 327 |
| 6.1 焚烧技术 .....                  | 327 |
| 6.1.1 焚烧设备 .....                | 327 |
| 6.1.2 焚烧工艺 .....                | 329 |
| 6.2 高炉原料化技术 .....               | 330 |
| 6.2.1 高炉喷吹废塑料<br>的综合利用 .....    | 330 |
| 6.2.2 高炉喷吹废塑料对<br>高炉生产的影响 ..... | 331 |
| 6.2.3 高炉喷吹废塑料<br>技术的综合优势 .....  | 332 |
| 6.3 固形燃料(RDF)化技术 .....          | 333 |
| 参考文献 .....                      | 334 |

# 第 1 章 概 述

近年来，随着高分子合成技术的进步，世界塑料工业发展迅速，越来越多的塑料制品走进千家万户，成为人们日常生活中必不可少的物质资料之一。然而，随着塑料制品的大量使用，废弃塑料量急剧增加，如各种塑料包装物、购物袋、农膜、编织袋、车辆保险杠、家用电器外壳、计算机外壳、工业废旧塑料制品、塑料门窗、聚酯制品（聚酯薄膜、矿泉水瓶、可乐瓶等）以及塑料成型加工过程中的废料等。据统计，我国废旧塑料的回收量每年约为 500 万 ~ 600 万 t。废塑料一般不降解，对环境造成破坏，被称为“白色污染”。大量消费后塑料的处理问题已成为当今地球环境保护的热点。我国《十一五规划纲要》和《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》中也指出，要建设资源节约型、环境友好型社会，而大力发展循环经济是建设资源节约型、环境友好型社会和实现可持续发展的重要途径。发展循环经济、实现资源的高效利用和循环利用是缓解经济发展无限和资源有限之间矛盾的根本出路，可从根本上解决经济发展与资源紧缺和环境保护之间的矛盾。废旧塑料资源被现代经济学家称之为“人类的第二矿藏”，废旧塑料的回收利用一直是发展循环经济的一项重要内容。

## 1.1 塑料的概念及其分类

### 1. 塑料的概念

塑料是以树脂为主要成分，在一定温度和压力下塑造成一定形状，并在常温下能保持既定形状的有机高分子材料。

树脂是指受热时通常有转化或熔融范围，转化时受外力作用具有流动性，常温下呈固态或半固态或液态的有机聚合物，它是塑料最基本的，也是最重要的成分。广义地讲，在塑料工业中作为塑料基本材料的任何聚合物都可称为树脂。

### 2. 塑料的分类

塑料目前尚无确切的分类，一般分类如下：

#### (1) 按塑料的物理化学性能分类

1) 热塑性塑料：在特定温度范围内能反复加热软化和冷却硬化的塑料。如聚乙烯塑料、聚氯乙烯塑料等。

2) 热固性塑料：因受热或其他条件能固化成不溶不熔性物料的塑料。如酚

## 2 废旧塑料回收利用实用技术

醛塑料、环氧塑料等。

### (2) 按塑料用途分类

1) 通用塑料：一般指产量大、用途广、成型性好、价廉的塑料。如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯等。

2) 工程塑料：一般指能承受一定的外力作用，并有良好的力学性能和尺寸稳定性，在高、低温下仍能保持其优良性能，可以作为工程结构件的塑料。如ABS、尼龙、聚砒等。

3) 特种塑料：一般指具有特种功能（如耐热、自润滑等），应用于特殊要求的塑料。如氟塑料、有机硅等。

### (3) 按塑料成型方法分类

1) 模压塑料：供模压用的树脂混合料。如一般热固性塑料。

2) 层压塑料：指浸有树脂的纤维织物，可经叠合、热压结合而成为整体材料。

3) 注射、挤出和吹塑塑料：一般指能在机筒温度下熔融、流动，在模具中迅速硬化的树脂混合料。如一般热塑性塑料。

4) 浇铸塑料：能在无压或稍加压力的情况下，倾注于模具中并硬化成一定形状制品的液态树脂混合料。如MC尼龙。

5) 反应注射模塑料：一般指液态原材料，加压注入型腔内，使其反应固化制得成品。如聚氨酯类。

### (4) 按塑料半成品和成品分类

1) 模塑粉：又称塑料粉，主要由热固性树脂（如酚醛）和填料等经充分混合、挤压、粉碎而得。如酚醛塑料粉。

2) 增强塑料：加有增强材料而某些力学性能比原树脂有较大提高的一类塑料。

3) 泡沫塑料：整体内含有无数微孔的塑料。

4) 薄膜：一般指厚度在0.25mm以下的平整而柔软的塑料制品。

此外，工程塑料、增强塑料和泡沫塑料又有其不同的类别。

(1) 工程塑料的分类 见表1-1。

表 1-1 工程塑料的分类

| 类 别    |      | 聚 合 物                                               |
|--------|------|-----------------------------------------------------|
| 通用工程塑料 |      | 尼龙、聚甲醛、聚碳酸酯、改性聚苯醚、热塑性聚酯、超高相对分子质量聚乙烯、甲基戊烯聚合物、乙烯醇共聚物等 |
| 特种工程塑料 | 非交联型 | 聚砒、聚醚砒、聚苯硫醚、聚芳酯、聚酰亚胺、聚醚醚酮、氟树脂等                      |
|        | 交联型  | 聚氨基双马来酰肼、聚三嗪、交联聚酰亚胺、耐热环氧树脂等                         |

## (2) 增强塑料的分类

1) 按增强材料的外形分类: 粒状增强塑料, 如钙塑塑料; 纤维增强塑料, 如玻璃纤维或玻璃布增强塑料; 片状增强塑料, 如云母增强塑料。

2) 按增强材料的材质分类: 布基、石棉增强塑料, 如碎布增强塑料; 无机矿物填充塑料, 如石英、云母填充塑料; 玻璃纤维增强塑料, 如预浸渍料, SMC、BMC 等; 特种纤维增强塑料, 如碳纤维、凯芙拉纤维增强塑料; 金属纤维增强塑料, 如钢丝增强塑料。

(3) 泡沫塑料的分类 见表 1-2。

表 1-2 泡沫塑料的分类

| 类 别     | 定 义                                         |
|---------|---------------------------------------------|
| 硬质泡沫塑料  | 无柔韧性, 压缩硬度大, 应力达到一定值方产生变形, 解除应力后不能恢复原状的泡沫塑料 |
| 半硬质泡沫塑料 | 柔韧性介于硬质和软质泡沫塑料之间的泡沫塑料                       |
| 软质泡沫塑料  | 富有柔韧性, 压缩硬度很小, 应力解除后能恢复原状, 残余变形较小的泡沫塑料      |

## 1.2 废旧塑料的来源

塑料尤其是热塑性塑料, 在合成、流通、成型加工、消费和使用过程中的每一个环节都会产生废料或废弃制品, 统称为“废旧塑料”, 其中绝大多数产生于消费使用过程中, 而且尤以包装材料、农膜及一次性用品的废弃量最大。表 1-3 为典型塑料材料的特性和应用。

表 1-3 典型塑料材料的特性和应用

| 树 脂 名 称       | 特 性                   | 主要应用领域 | 产 品 示 例                       |
|---------------|-----------------------|--------|-------------------------------|
| 低密度聚乙烯 (LDPE) | 防潮、低温性好、具有惰性          | 包装     | 薄膜、食品袋、垃圾袋、电缆、管材、复合纸          |
| 高密度聚乙烯 (HDPE) | 半透明、韧性好, 其他同 LDPE     | 包装     | 牛奶及洗洁精瓶、电线电缆绝缘材料等             |
| 聚丙烯 (PP)      | 柔韧性好、疲劳性高、耐热等         | 包装、家具  | 渔网、薄膜、板材、管材、编织袋、周转箱等          |
| 聚氯乙烯 (PVC)    | 透明、易老化、易变脆等 (加入助剂可改性) | 包装、建筑  | 各种管道、管件、人造革、薄膜、电线电缆、地板、扶手、线槽等 |

## 4 废旧塑料回收利用实用技术

(续)

| 树脂名称                 | 特性                          | 主要应用领域        | 产品示例                             |
|----------------------|-----------------------------|---------------|----------------------------------|
| 聚酯 (PET)             | 强韧性、耐疲劳性、耐热性、尺寸稳定性好等        | 包装、建材等        | 饮料瓶、复合食品袋、录音磁带、汽车车身、耐磨零件等        |
| 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS) | 极好的冲击强度、抗蠕变性好、电绝缘性好等        | 机械制造、汽车等      | 机械零件、电冰箱及洗衣机的内衬等                 |
| 聚酰胺 (PA)             | 拉伸强度优良、耐磨性优良等               | 包装、工业、日用品等    | 缆绳、刷子、衣服、管材、棒材、复合薄膜等             |
| 聚碳酸酯 (PC)            | 良好的透光性、冲击强度极好、耐热性好、较高的拉伸强度等 | 包装、航空航天、医疗器械等 | 汽车外壳、飞机座舱罩、饮水桶、灯罩、电器零件等          |
| 聚氨酯 (PU)             | 可压制成硬、软泡沫塑料, 绝热、吸音等         | 建筑、运输、化工、航空等  | 飞机及车厢等墙面、门的保温、隔热保温防振包装材料、吸音吸油材料等 |
| 酚醛树脂 (PF)            | 耐热、耐粉碎、强度高                  | 建筑、房屋         | 板、管、棒、电话机、手柄、灯头、插座、电熨斗的底座等       |

从表 1-3 可以看出, 包装工业应用塑料材料所占比例较高, 使用寿命也短, 产生的废料量多。

### 1. 加工过程中的废旧塑料

这类废旧塑料没经使用, 比较干净, 回收、分类后即可再生利用。主要包括以下几种:

- 1) 树脂生产中产生的废料。
- 2) 成型加工过程中产生的废料。
- 3) 配混和再生加工过程中产生的废料。
- 4) 二次加工中产生的废料。

### 2. 消费和使用后的废旧塑料

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。这类废旧塑料包括以下几种。

(1) 生活消费后的废旧塑料 日常生活所用塑料制品占整个塑料制品的比例较大, 主要有以下几种:

包装用材料, 如包装电视机、电冰箱、洗衣机等家用电器的聚苯乙烯泡沫塑料防振材料, 包装袋、礼品盒, 捆扎绳等。

日用品用材料, 如计算机外壳、洗衣机外壳、家具、灯具、座椅、沙发、柜子、桶、盒、碗、牙膏、杯子、雨衣、伞、瓶子、梳子、垃圾箱、箱包、磁带、

电话、插销座、电熨斗等都可用塑料材料制作。主要塑料材料有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酯、聚碳酸酯、聚酰胺、聚氨酯、酚醛树脂等。

食品包装用材料,如旅馆、旅游区、饭店、汽车及火车站、轮船等场所食物的盛装器具,瓶子、快餐盒、盘子、周转箱、蛋托等一次性使用塑料,对这些使用的塑料,国家已规定使用环保型材料,数量在逐渐减少。

生活消费后的废旧塑料回收难度很大,涉及到千家万户,目前城市塑料垃圾的回收正成为课题,被正式列入研究中。

(2) 农业领域中的废旧塑料 我国是一个农业大国,农用塑料占整个塑料制品的比例较大,农业上的应用主要是农用地膜、棚膜、编织袋(盛装粮食、种子、化肥等用)、各种输水管、排水管、塑料绳、网具。上述塑料制品多为聚乙烯、聚氯乙烯树脂(如地膜和水管、绳索与网具),其次为聚丙烯树脂(如编织袋),还有聚苯乙烯树脂(如排水软管、棚膜)等,其中回收难度较大的是农用地膜。

(3) 商业部门的废旧塑料 商业部门的塑料制品废弃物来自于以下两个方面:

1) 经销部门,这类部门使用的塑料制品大都为一次性包装材料,如包装袋、打捆绳、防震泡沫塑料、包装箱、隔层板等,此类塑料制品种类较多,一般为PP、PE、PS、PC、PET、乙烯-乙酸乙烯酯共聚物(EVA)、聚偏二氯乙烯(PVDC)、PA等,但基本无污染,回收、分类即可再生利用。

2) 消费部门,这类废弃的塑料制品,如食品盒、塑料瓶、包装袋、盘、碟、容器等塑料杂品一般均使用过,存在污染物,它们除分类回收外,还需进一步处理。

(4) 其他领域的废旧塑料

1) 工业领域的废旧塑料,如齿轮、油箱、保险杠、蓄电池箱、油管、电解槽、管道、阀门、电线电缆、开关、插座、插头、电冰箱、电视机、洗衣机、计算机等电器外壳和元件。

2) 渔业中的废旧塑料,如渔网、鱼袋、鱼竿、浮球等。

3) 环卫部门的废旧塑料,如垃圾箱、桶等。

4) 文教部门的废旧塑料,如文具盒、文件夹等。

5) 化学工业中使用过的袋、桶等。

6) 建筑行业中的塑料门窗、下水管、地下水管、地板等。

7) 纺织工业中的容器、废人造纤维丝等。

8) 灌装工业中的收缩膜、拉伸膜等。

总之,塑料材料应用的所有领域都将产生废旧塑料,故随塑料应用日益增多,其废料也相应增加,在我们享受着塑料材料所带来的方便、舒适生活的同

时,也将对资源和环境产生巨大压力,所以科学有效地回收和利用废旧塑料是当务之急。

### 1.3 废旧塑料的危害

废塑料使用后弃置于环境中主要产生两类危害:一类为对景观环境的污染;另一类为对生态系统的危害。废塑料对景观环境的污染是指废弃塑料对景观的破坏,主要表现在使用过的塑料制品弃置在城市中、旅游区、水体、公路、铁路旁,给人们的视觉带来不良刺激,影响景观的整体美感。其中废弃的浅色塑料膜、塑料袋、塑料包装物等被称为“白色污染”。而废塑料对生态系统的危害主要是对动物、水体和土地系统的危害。

#### 1. 对土壤、农作物的危害

就目前世界和我国废旧塑料的现状来看,主要影响社会环境的废旧塑料是以农用和包装材料为主。农用废旧塑料以废弃农膜为主,包括地膜、棚膜、果蔬保鲜膜及农灌防渗膜等。覆盖农膜可增温、保温、保肥、保水,控制杂草生长和盐碱地返碱,增产效益显著,因此近年来我国农膜的产量与用量总体上呈上升趋势。但是,农用薄膜的使用寿命一般较短,我国现有的棚膜使用寿命通常是1~2年,使用后废弃的农膜进入环境,就成为塑料废品的一个重要组成部分。这些材料的相对分子质量在 $10^4 \sim 10^5$ 之间,分子与分子之间结合得相当牢固,在自然条件下,分解速度极为缓慢,如聚乙烯、聚氯乙烯塑料薄膜,在土壤中约300~400年才能完全降解,它们滞留在土壤里就破坏了土壤的透气性能,降低了土壤的蓄水能力,影响了农作物对水分、养分的吸收,阻碍了禾苗根系的生长,还会缠绕农机,影响田间作业,长此下去会影响深层土壤,使土壤环境恶化,从而造成农作物的大幅度减产。此外,塑料添加剂中的重金属离子及有毒物质会在土壤中通过扩散、渗透,直接影响地下水水质和植物生长。

据报道,如果每亩(1亩=666.6m<sup>2</sup>)地有3.9kg残膜,将减产玉米11%~13%、土豆5.5%~9.0%、蔬菜14.6%~59.2%;也有人做过实验,当每亩农膜残片达6.9kg,小麦减产约9%,当达到25kg时减产26%。当前,有些农业部门推广无法回收的0.007mm超薄地膜,从长远看是不妥当的。

#### 2. 对海洋的危害

废旧塑料对海洋生态造成的危害是石油溢漏危害性的4倍,每年仅丢弃在海洋的废弃渔具就在15万t以上,各种塑料废品在数百万吨以上。据估计,每年至少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,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。1970~1987年间,

人们调查了太平洋海域的 543 头白额鸕等大型海鸟，由于它们分不清塑料与海草，竟在其中 458 头的胃中找到了塑料类制品。

废弃塑料对海洋的污染已成为国际性问题，海洋漂浮物中泡沫聚苯乙烯占 22%，其他塑料占 23%。这些废塑料不仅会缠住船只的螺旋桨，还会损坏船和机器，引起停驶和事故，给船运造成巨大损失。而每清除 1t 海上垃圾要用清除陆地垃圾 10 倍的费用。

### 3. 对动物的危害

废弃塑料对动物的伤害主要表现在被动物误食，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，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。由于塑料制品在动物体内无法被消化和分解，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，造成肠梗阻乃至死亡的事例已屡见不鲜，例如：在北京，从一只死亡奶牛的胃中清出的塑料薄膜竟有 13kg。

### 4. 对人体的危害

早在 20 世纪 60 年代中期，人们就发现聚氯乙烯塑料中残存的氯乙烯单体能引起使前指骨溶化的所谓“肢端骨溶解症”的怪病。从事聚氯乙烯树脂制造的工人通常会出现手指麻木、刺痛等所谓的白蜡症（雷诺氏综合症）。当人们接触氯乙烯单体后就会发生手指、手腕、颜面水肿，皮肤变厚、变僵且失去弹性和不能用力握物的皮肤硬化症，同时还会出现脾大、胃及食道静脉曲张、肝损伤、门静脉压亢进等症。20 世纪 70 年代后又有一些聚氯乙烯生产厂中，发现有人患有一种极少见的肝癌——肝脏血管肉瘤。此后，虽然尽量控制聚氯乙烯树脂中单体含量，但并未彻底解决问题，故 1975 年美国首先提出禁止使用聚氯乙烯塑料包装食品和饮料。

因废旧塑料造成的火灾事故时有发生。废旧塑料的焚烧还会产生有害气体，如聚氯乙烯燃烧产生氯化氢（HCl），ABS、丙烯腈燃烧产生氰化氢（HCN），聚氨酯燃烧也产生氰化物，聚碳酸酯燃烧产生光气等有害气体。其中氯化物燃烧产生的二噁英等有毒气体能使兽类和鸟类出现畸形和死亡，对生态的破坏极大。它们对人体的伤害也是极为严重的，表现为肝功能紊乱和神经受损，并使癌症的发病率上升等。有些伤害是潜在的，如 1992 年丹麦研究人员首先发现，现代人类精子细胞的数目在过去 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 6000 万个/mL，而现在只有 2000 万个/mL，减少了 2/3，男子性功能普遍衰退，睾丸癌患病率也较过去 40 年增加了一倍多。之所以产生这种现象，二噁英废气能使精子减少也是其中一个原因。此外，塑料燃烧产生的一些氧化物还具有“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，使男性在体能方面的爆发力、持久力等优势趋于弱化。

### 1.4 我国再生塑料行业的现状

我国再生塑料行业起步较早，为资源节约和环境保护作出了巨大贡献，成绩是显著的，而且前景巨大。但是现状并不容乐观，简单概括，主要有以下几个方面：

1) 我国废旧塑料资源丰富，蕴藏巨大财富，但流通环节不畅，开发利用严重不足。据统计，我国每年大约有 1400 万 t 废旧塑料没有得到回收利用，再生利用率只有 25%，直接资源浪费高达 280 亿元/年。

2) 此行业基本上是以小作坊为主，从业人员各自为政，缺乏交流合作，设备落后，技术匮乏，管理不善，新观念、新技术、新工艺、新设备普及乏力，难以向现实生产力转化，其结果是产品档次低。

3) 少数地区行业起步较早，从业人员较多，自然形成了一定的规模，当地政府因势利导，培植出年产值数亿元的再生塑料工业园，但依然面临观念滞后、技术滞后、管理滞后等发展瓶颈，发展方向不明，后劲严重不足。

4) 再生塑料业主要存在的问题是再生机械质量有待提高，产品技术含量低，质量不稳定，存在一定的二次污染，很多生产工艺及设备存在安全隐患。

5) 缺乏必要的政策引导和相关的行业标准，致使行业成员间缺乏交流合作、技术含量不高、再生品质量参差不齐、水资源的浪费和污染相当严重等。

总的来说，再生塑料业近几年取得了很大的进步，但是，如果要想让这个行业健康、长期地发展下去，政府必须发挥其职能，出台相关的法规、标准来正确引导再生塑料的回收；作为行业的领导者和决策者，要改进生产技术，把科技融入到生产当中去，提高产品质量，创造品牌产品，同时要节约资源，减少环境污染，配合当地政府的的管理，按照国家法律法规办事。

### 1.5 废旧塑料处理存在的问题及发展方向

从现有的技术经济评价看，废旧塑料处理成本中收集成本占很大比重，废旧塑料处理的经济性关键是在原料的收集上，应更多地归结为社会问题。一方面政府应提供更多的行政、立法支持；另一方面，应建立有效的废旧塑料收集体系，以降低收集成本。除收集成本外，由于废旧塑料炼油的产品主要是液体燃料，其市场竞争力与能源供需状况紧密相关，特别是石油产品的价格往往具有决定作用，因此，制取更高附加值的产品才能具有更强的竞争力。

尽管目前废旧塑料回收再生利用有政策倾斜，但从长远来看，废旧塑料处理要有生命力，必须考虑其经济性，要上规模。BASF 公司、维巴公司的关闭行动

值得深思。1996年BASF公司关闭了其在路德维希的1.5万t塑料回收中试装置,随后终止了建设工业装置的计划。2000年末维巴公司关闭了其位于德国博特罗普的8万t塑料回收装置,原因就是没有经济效益。1998年维巴公司处理了6.4万t废聚合物材料,营业额2900万美元,损失达3200万美元。

机械法回收废旧塑料制木塑复合材料因简单易行、投资较低、可使用混合废塑料,从而使成本降低,再加上木材资源缺乏,有可能首先走上盈利的道路。

废旧塑料处理是一个综合性的社会问题,是一项绿色事业,需要政策倾斜、立法行政支持才能蓬勃发展,只有各种关系理顺了,政策、法规健全了,才会有经济效益。目前更注重的是其社会效益和环境效益。当今各国政府相继通过经济、行政和立法等手段扶持废旧塑料回收事业,如资助经费、对产品减税或免税等。为了便于废弃塑料制品的回收利用,美国、澳大利亚、日本及欧洲各国要求厂家对塑料制品做出标记,注明所用材料。

通过以上分析可以看出,目前回收废旧塑料是物理法、化学法并存,尽管化学方法很有诱惑,但其技术难度较高,短时间内难以大规模工业化,有些方面还处于小试研究阶段,而且其经济性也令人怀疑,因此结合我国目前保护森林资源和生态环境、封山禁伐的现实情况,现阶段废塑料物理回收方法——机械法回收废塑料制木塑复合材料是现实可行、具有经济性的项目,短时间内即可实施,同时可节约国家森林资源,是一项绿色环保工程。