

# 上海市生活垃圾废塑料回收再利用现状及优化策略

戴 军, 范帅康, 庄绪宁, 宋小龙, 赵 静, 白建峰

(上海第二工业大学 资源与环境工程学院, 上海 201209)

**摘 要:** 在垃圾分类背景下上海市可回收物回收体系逐步完善, 生活源废塑料回收再利用量获得极大提升。通过现场调研与统计资料分析, 对当前上海市生活垃圾废塑料分类回收现状、再利用技术进行分析梳理, 结果显示当前生活垃圾废塑料回收类别以 PET、PP 为主, 分别占总回收量的 45.3% 和 30.7%; 另有近 30% 具有回收价值的废塑料未被回收, 主要以 PP 和 PET 为主。在此基础上, 提出需进一步完善分类回收标准与补贴政策、推动 PET 同级利用等回收技术创新、强化宣传教育与主体监管等优化策略, 以期促进废塑料回收与再利用行业进一步发展。

**关键词:** 生活垃圾分类; 两网融合; 废塑料; 分类回收; 再利用技术

中图分类号: X705

文献标志码: A

## Current Situation and Optimization Strategy for the Recycling of Plastics from Household Waste in Shanghai

DAI Jun, FAN Shuaikang, ZHUANG Xuning, SONG Xiaolong, ZHAO Jing, BAI Jianfeng  
(School of Resource and Environmental Engineering, Shanghai Polytechnic University, Shanghai 201209, China)

**Abstract:** Under the background of waste-sorting, the recycling system of recyclable waste in Shanghai has gradually improved, and the recycling of household plastics has been greatly improved. Based on the on-site research and the statistical data analysis, the current collection status of household plastic and recycling technology in Shanghai was analyzed in this paper. The dominant types of recycled waste plastics were PET and PP, accounting for 45.3% and 30.7% of the total recycling plastics, respectively. Besides, there are nearly 30% of the plastics with recycling value wasn't recovered, which are mainly PP and PET. Thus, to promote the development of plastic recycling from household waste, it is recommended to establish recycling standard and to improve subsidy policies, as well as to promote recycling technology innovation, public education and supervision strengthen in the near future.

**Keywords:** household waste classification; integration of two networks; waste plastics; recovery and recycling; recycling technologies

## 0 引言

塑料因其成本低、质量轻、化学性质稳定、透明耐磨等特点, 在国民生产与生活各个领域均有广泛应用并相应带来大量废塑料有待处理与处置。据国家统计局年鉴与《中国再生塑料行业发展报告》显示<sup>[1-2]</sup>, 我国废塑料年产生量在 6 000 万 t 以上, 而废

塑料回收率仅在 30% 左右 (见图 1), 废塑料的回收再利用仍有较大提升空间。

根据来源不同, 废塑料可分为工业源、农业源、医用源和生活源 4 大类。已有数据显示, 一次性塑料产品 (如塑料袋、农膜、饮料瓶等) 约占我国塑料废弃量 31.75%<sup>[3]</sup>, 根据塑料薄膜占塑料总量 20%<sup>[4]</sup> 及农膜约占其 1/3 等<sup>[5]</sup>, 可初步推断以塑料袋、饮

收稿日期: 2023-09-18

通信作者: 庄绪宁 (1984-), 女, 山东莒南人, 副研究员, 博士, 主要研究方向为固体废物管理与资源化。

E-mail: xnzhuang@sspu.edu.cn

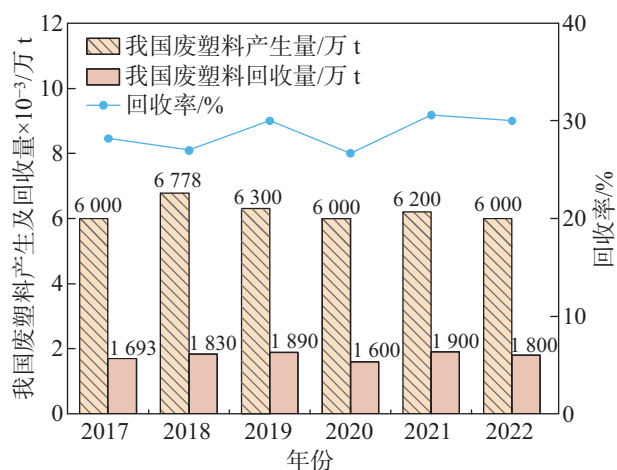


图 1 2017~2022年我国废塑料回收情况

Fig. 1 Statistics of waste plastics recycling in China (2017-2022)

料瓶为主的生活垃圾废塑料约占我国塑料废弃量的 25% 左右。因组成复杂、易受污染, 其有效回收再利用是废塑料回收再利用领域的重难点。当前生活垃圾中受污染较少的饮料瓶和日化包装瓶等的资源化价值与回收利用率相对较高<sup>[6]</sup>; 生活垃圾中仍有大量具有回收潜力但价值相对较低的废塑料(如 PP 材质餐盒、HDPE/LDPE 硬质背心塑料袋、PS 泡沫塑料、PET 材质的包装盒等<sup>[7]</sup>), 对其进行有效回收利用值得关注。

生活垃圾分类制度推动了我国传统再生资源回收系统与市政回收系统的结合即“两网融合”, 有助于提高生活垃圾中可回收物的回收再利用量。截至 2022 年底, 全国已有 245 个地级及以上城市社区开展垃圾分类<sup>[8]</sup>。上海作为超大城市和全国首个全面实行生活垃圾分类的城市<sup>[9]</sup>, 在“两网融合”背景下其废塑料回收再利用量及品类等均呈现出新的变化与特征。

本文以上海市为例, 关注“两网融合”背景下的生活垃圾中废塑料回收与再利用问题, 介绍了当前上海市生活垃圾废塑料的分类回收及其再生利用技术现状, 重点解析了回收废塑料的组成与品类特征, 进一步提高废塑料分类回收率的未来潜力, 并在此基础上提出推动行业发展与优化的策略建议。

## 1 数据来源

### 1.1 统计资料与文献数据

本文有关我国废塑料年回收量、上海市废塑料年产生量与回收量等数据来源于国家统计局、上

海统计年鉴、中国再生塑料行业发展报告; 有关推进废塑料回收与再利用、鼓励回收低价值废塑料等政策信息类数据来源于政府官方网站; 各有关省市废塑料在其他垃圾中的占比等数据来源于文献资料, 具体来源均在文中相应做标注。

### 1.2 现场调研

上海市生活垃圾中分类回收废塑料组成特征、仍具回收价值的废塑料组成特征、低价值废塑料回收主要类别等数据主要来源于现场调研。

#### 1.2.1 调研社区情况

依托上海市 2022~2023 年上半年生活垃圾分类实效综合考评结果<sup>[10-11]</sup>, 实地调研了上海市 14 个区部分街道, 并在各区分别选取 2~3 个社区作为目标社区, 对其生活垃圾中可回收废塑料品类、类别及其产量占比等开展调研。所选取目标社区的生活垃圾分类设备配置齐全、宣传氛围与可回收物服务点运行良好, 且居民参与度高, 社区具体位置如图 2 所示。

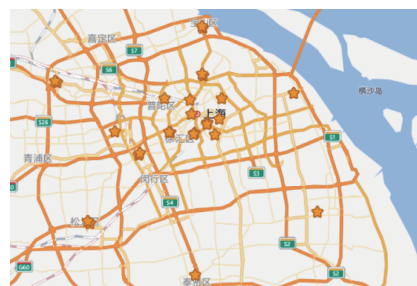


图 2 目标社区地理位置分布

Fig. 2 The geographical distribution of target community

#### 1.2.2 调研方法

调研时间持续 4 个月, 调研样本包括 28 个社区的垃圾投放点, 分别对投放点处可回收物与其他垃圾(干垃圾)桶中的可回收废塑料进行分类并称重, 其中其他垃圾(干垃圾)中的可回收废塑料主要指饮料瓶、日化包装等高值废塑料及餐盒、快递袋、气泡膜、泡沫等具可回收价值的低值废塑料, 不包括黑色垃圾袋、受污染严重餐盒和包装袋、食品包装袋、塑料花盆、塑料拖鞋等不具回收价值的废塑料。

通过现场调研并结合《上海市可回收物指导目录(2019 版)》<sup>[12]</sup>, 本研究将生活垃圾中可回收废塑料分为以下 4 种主要类别:

(1) 瓶。指各种矿泉水瓶、饮料瓶、食用油透明塑料瓶以及不透明牛奶塑料瓶和日化包装瓶等, 主要成分为 PET、HDPE。

(2) 杯、盒。指居民日常生活中使用的食品包装盒、奶茶杯等,主要成分为 PP。

(3) 袋。指超市背心袋、快递袋、防震充气袋、气泡膜、洗衣液包装袋等,主要成分为 HDPE、LDPE。

(4) 泡沫。指包装防震泡沫、保温泡沫箱,主要成分为 PS。

## 2 生活垃圾废塑料分类回收现状

### 2.1 分类回收体系构建

根据《上海市两网融合回收体系建设导则(试行)》(2018 年 3 月发布)<sup>[13]</sup>,上海市明确了可回收物回收网络的“点-站-场”设置标准。截至 2022 年底上海市共有 1.5 万个“两网融合”可回收物交投服务点,198 个中转站、15 座集散场,“点-站-场”回收体系框架基本形成<sup>[14]</sup>。当前上海市可回收物回收体系主要包括 3 种回收模式(见图 3),分别是个体、两网融合与第三方回收模式,其中个体回收长期存在,主要由个体回收商、拾荒人员和市民个人打包废塑料送至废品站,再逐级转运进行分拣、重新打包后根据不同品类运输至不同资源化再生工厂;两网融合回收模式是在原有个体回收基础上,收编大部分个体回收商,通过环卫收集运至可回收物中转站进行简单分拣打包,在可回收物集散场细分后运输至资源再生工厂进行再生利用;第三方回收主要利用智能回收箱体,后台管理系统可根据回收箱的储量及时调度清运员,将可回收物清运至中转站分类暂存后运送至资源再生利用工厂。

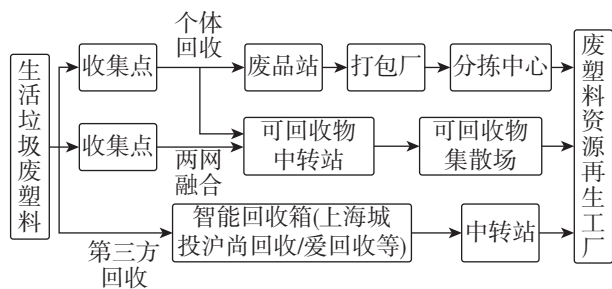


图 3 生活垃圾分类背景下的废塑料回收体系

Fig. 3 Waste plastic recycling system under the background of waste-sorting

随着上海市可回收物回收体系逐步完善,废塑料的回收再利用量获得极大提升。图 4 所示为 2017~2021 年上海市废塑料回收量,可看出在 2017~2018 年,上海市废塑料回收量约为 24 万 t/a,在 2019 年全面推行生活垃圾分类后,废塑料回收量

逐年增加,2019 年废塑料回收量为 35 万 t/a,年回收增长率达 42%,此后逐步增长至 2020 年的 42 万 t 和 2021 年的 63 万 t<sup>[15]</sup>。

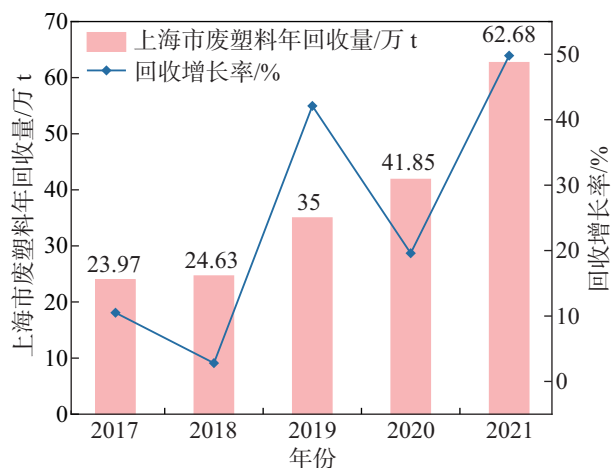


图 4 2017~2021 年上海市废塑料回收量

Fig. 4 The amount of recycled waste plastics in Shanghai (2017-2021)

注: 由于上海市数据统计缺失, 2019 年废塑料回收量为结合文献数据<sup>[16]</sup>与相邻年份数据估算得到

### 2.2 低值废塑料回收管理

当前低价值废塑料无明确定义, 但根据《上海市可回收物指导目录》<sup>[12]</sup> 可知低价值废塑料包括塑料包装盒、泡沫塑料、塑料玩具(塑料积木、塑料模型)等, 本文所指的低价值废塑料还包括易混入其他垃圾(干垃圾)中的外卖包装、快递袋等。

为探索推动低价值可回收物的分类回收与再利用, 上海各区陆续出台一系列政策和补贴措施。其中杨浦、静安、黄浦、虹口区明确规定低值可回收物补贴标准参照上海市生活垃圾处置费, 为 221 元/t; 松江区按照主体企业实际中标价进行补贴, 最高不超过 221 元/t; 闵行区依据企业实际运行成本发放补贴, 补贴不超过 111.5 元/t; 长宁和浦东新区虽制定补贴办法, 但无明确界定补贴范围。在此背景下, 已有部分街道将受污染较小的 PP 透明餐盒分出并将其与饮料瓶、日化包装和泡沫等高值废塑料一起进入资源回收体系; 亦有部分社区将 HDPE 背心袋、LDPE 防震充气袋、气泡膜等低值废塑料进行分类回收, 由于贮存场地受限、回收技术落后且低价值废塑料本身价值低、易受污染等原因, 在有政府补贴的情况下, 低值废塑料的回收与再利用进展仍较慢。

### 2.3 废塑料分类回收现状与组成特点

通过对 14 个区、28 个回收服务点的调研数据分析发现, 不同社区回收废塑料中不同品类塑料占比具有一定的波动性, 各品类废塑料的回收占比数据分布如图 5 所示。将不同品类废塑料占比数据分别进行平均处理、取集中分布于 25%~75% 范围内数据进行平均处理后发现 (见表 1), PET、PP、HDPE、PS 4 类塑料的居中数据 (25%~75%) 均值与全部数据均值数据差异不大, 但 LDPE 两均值间呈现出较大差异, 这主要是因为不同城区在推行低值可回收物补贴政策上存在差异, 导致 LDPE 的回收比例在部分城区几乎为 0, 因而存在较大差异。因此, 考虑当前上海市生活垃圾中 LDPE 塑料的分类回收现状, 同时保持所有品类塑料数据处理的一致性, 本研究以居中数据

(25%~75%) 均值为依据对上海市生活垃圾废塑料回收现状进行分析。以下未分类回收废塑料数据处理方式相同。

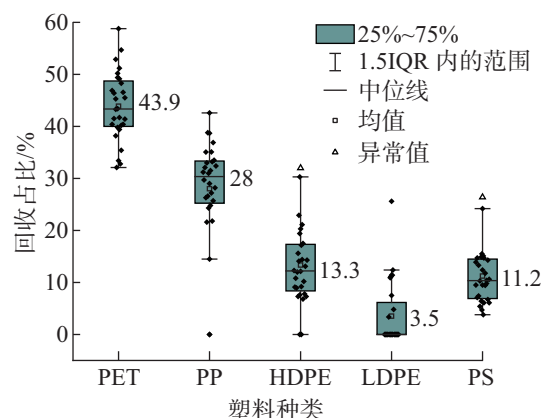


图 5 各品类分类回收废塑料调研数据分布  
Fig. 5 Survey data distribution of recovered waste plastics for recycling

表 1 调研数据不同范围均值  
Tab. 1 Survey data are averaged in different ranges

|                      | PET  | PP   | HDPE | LDPE | PS   |
|----------------------|------|------|------|------|------|
| 居中数据 (25% ~75%) 均值/% | 45.3 | 30.7 | 12.6 | 0.6  | 10.9 |
| 全部数据平均值/%            | 43.9 | 28.0 | 13.3 | 3.5  | 11.2 |

由表 1 的分析结果可知, 当前分类回收废塑料以 PET 为主, 占比为 45.3%, 其次 PP, 占比为 30.7%, 再次 PE(HDPE/LDPE), 占比为 13.2%, 最后是 PS 泡沫塑料, 占比为 10.9%。其中, PET、PP、PS 的回收占比均高于《我国再生塑料行业发展报告 (2022 年度)》(以下简称报告) 中的回收比例 (PET 占 33.3%, PP 占 20.6%, PS 占 4.4%), 而 PE(HDPE/LDPE) 的回收占比略低于报告中的回收比例 (21.7%), 由此可见上海在 PET、PP、PS 的回收再利用上均显著高于全国水平, 而 PE 的回收利用方面低于全国水平, 呈现出一定的地方特色 [17]。

进一步对进入资源回收体系的废塑料主要类别及其占比进行分析可知 (见图 6), 当前进行分类回收的废塑料主要以瓶类为主, 占比约为 54.1%; 其次杯盒类, 占比约为 30.7%; 泡沫和袋类相对较少, 占比分别为 10.9% 和 4.3%, 其中泡沫塑料因体积大、重量轻、存放与运输成本高导致回收率较低, 而袋类废塑料由于易受污染、质量轻且回收价值低原因导致其回收率相对较低。

此外, 调研发现其他垃圾 (干垃圾) 内仍存在一

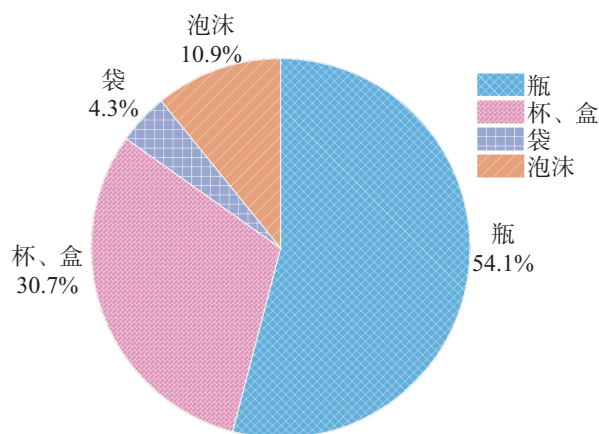


图 6 分类回收与再利用废塑料的类别平均占比  
Fig. 6 The average percentage of recovered waste plastic for recycling

定量可回收废塑料 (指导目录中已明确提出且在当前技术下可实现回收再生的废塑料), 该类废塑料具有进一步分类回收潜力。经对该部分未分类但仍具回收价值的废塑料深入分析发现, 当前已实现分类回收的废塑料仅占所有可回收废塑料的 71.9%, 仍有近 30% 的废塑料未被分类回收 (见图 7); 且具有回收潜力的废塑料在其他垃圾 (干垃圾) 中约占

10.5%, 产生量较大, 因此废塑料的分类回收与利用率仍存在较大的提升潜力。

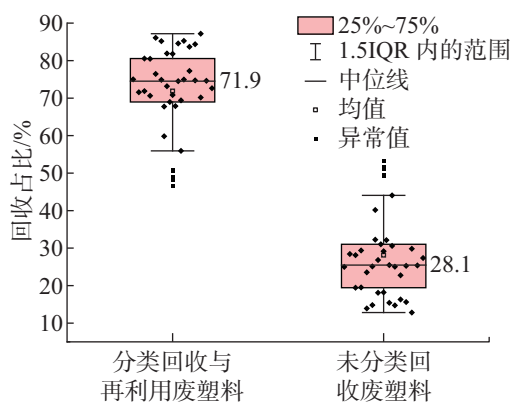


图 7 可回收废塑料的回收占比情况

Fig. 7 The percentage of recovered waste plastics

未分类但仍具回收价值的废塑料的品类平均占比如图 8 所示, 结合其与其他垃圾 (干垃圾) 中的产生量, 可知 PP 和 PET 的进一步回收潜力最大, 其占比分别为 34.6%、26.5%, 其中 PP 多为污损餐盒, PET 主要为水果、鸡蛋等包装盒及分类回收遗漏的饮料瓶; LDPE 塑料占 14.3%, 主要为快递袋、气泡膜与食品塑料袋等; HDPE 塑料占 15.8%, 主要为日化包装、硬质背心袋等; PS 泡沫塑料占比为 8.8%。

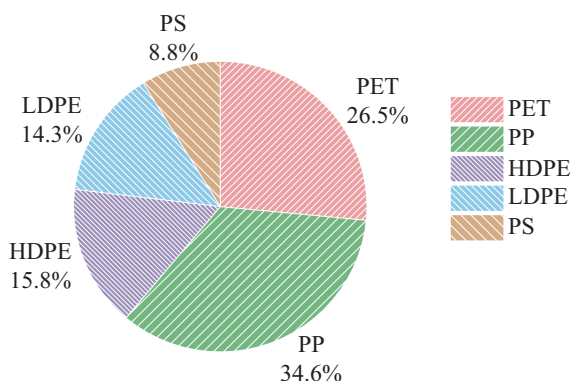


图 8 未分类但仍具回收价值的废塑料的品类平均占比

Fig. 8 Average percentage of waste plastics unrecovered but with recycling value

从塑料类别上看其主要以瓶、杯盒类为主 (见图 9), 二者占比分别为 37.5%、34.6%, 瓶类主要为分类过程中遗漏的饮料瓶、酸奶瓶等, 杯盒类主要为不透明及受到一定污染但较易清洁的餐盒和奶茶杯等; 其次为袋类, 占比为 19.1%; 泡沫塑料因体积大、易识别, 在干垃圾中存在较少, 仅占 8.8%。

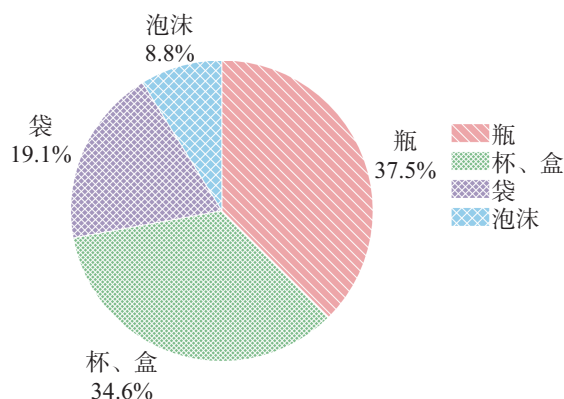


图 9 具进一步回收潜力的废塑料类别占比

Fig. 9 Percentage of waste plastic categories with further recycling potential

### 3 生活垃圾废塑料回收利用技术

目前上海市废塑料回收再生技术以物理熔融回收为主, 辅以一定量的化学回收和能量回收<sup>[3]</sup>。常用物理回收方法包括物理熔融、改性再生、木粉填充等<sup>[18]</sup>, 技术体系较为成熟; 化学回收方法包括醇解法、热解法、氢解法、光催化法、溶解法等<sup>[19]</sup>; 能量回收即通过垃圾焚烧产生高温气体用于发电<sup>[3]</sup>, 适用于难清洁、难分选的混合废塑料实现资源化、减量化。

#### 3.1 物理回收技术

##### 3.1.1 物理熔融再生技术

当前, PP、PE、PS 等废塑料多采用物理熔融方法进行再生利用。物理熔融再生技术仅需经过“破碎 - 清洗 - 加热熔融 - 挤出 - 冷却切粒”等工艺流程如图 10 所示, 将 PP、PE、PS 等废塑料制备成再生塑料粒子及其制品, 该方法不会引起塑料化学成分的改变, 工艺简单、成本较低, 广泛应用于品类单一的废塑料回收利用<sup>[3]</sup>。



图 10 物理熔融再生技术工艺流程

Fig. 10 Physical melting recycling technology process

##### 3.1.2 物理改性再生技术

物理改性再生技术包括填充改性和增强改性, 通过向废塑料中添加各种添加剂形成共混体系, 以增强再生塑料熔点、韧性等物理性质<sup>[20]</sup>。废塑料物理改性再生技术主要工艺流程如图 11 所示, 该方法对废塑料的种类、品质要求较低, 可直接回收利用

混合废塑料<sup>[21]</sup>。目前, 上海某废塑料再生企业即通过向废 PE 塑料中加入增塑剂、增韧剂以改变废塑料物理性质, 生产 PE 再生粒子, 实现其资源化。

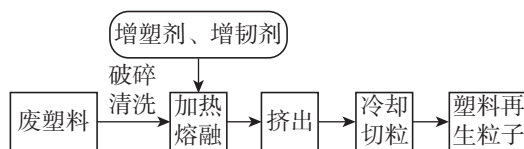


图 11 物理改性再生技术工艺流程

Fig. 11 Physical modification recycling technology process

### 3.2 化学回收技术

化学回收主要采用热裂解、水解、醇解、其他溶剂溶解等技术将废弃塑料降解为燃料油 (汽油、柴油等)、单体或化工原料 (乙烯、丙烯) 等<sup>[3]</sup>。其中, 热裂解技术成本相对较低, 催化热解可有效提高混合废塑料热解产品的质量<sup>[22]</sup>, 如上海某废塑料再生企业即利用热解技术将混合废塑料转化为二级原料热解油, 并为热解油建立了广泛的供应基础, 实现废塑料化学循环, 废塑料热裂解回收简易技术路线如图 12 所示。

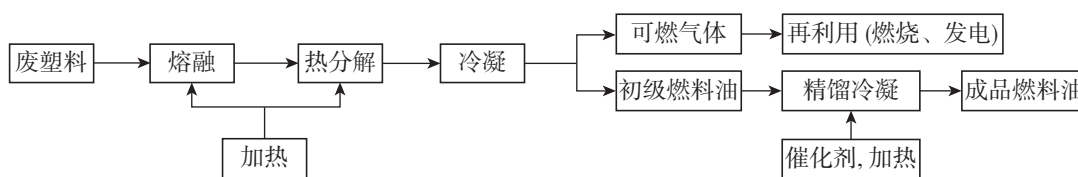


图 12 化学回收-催化热解

Fig. 12 Chemical recycling-catalytic pyrolysis

醇解法常用于废 PET 塑料 (聚对苯二甲酸乙二醇酯) 的回收利用, 其中乙二醇醇解法优势明显 (见图 13), PET 经水解后可直接得到原料单体 BHET (对苯二甲酸乙二醇酯)<sup>[23]</sup>, 其经进一步缩聚反应后重

新生成高纯度再生 PET 粒子, 可实现废 PET 塑料的同级利用。该技术对设备及反应条件要求较低, 能进行连续的工业生产操作<sup>[24]</sup>, 且生成单体纯度可达 96%, 同级利用率高<sup>[25]</sup>。

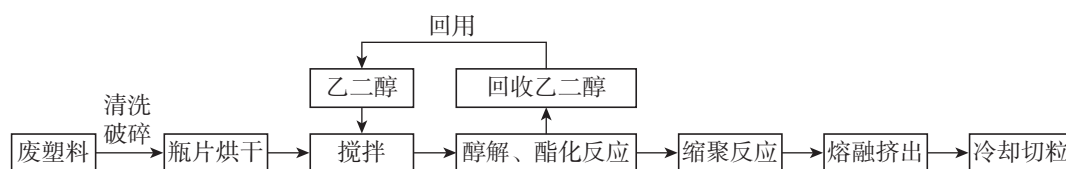


图 13 化学回收-乙二醇醇解

Fig. 13 Chemical recycling-glycol alcoholysis

### 3.3 能量回收技术

能量回收技术即通过焚烧以热的形式回收废塑料中的能量, 经过焚烧的废塑料可实现 90% 以上的减容率<sup>[26]</sup>, 但会产生有毒气体, 同时带来大量碳排放产生温室效应 (据估算, 1 t 废塑料焚烧将会产生 5~10 t 的碳排放量<sup>[27]</sup>)。由于焚烧仅实现能量回收而非资源循环, 焚烧技术并非废塑料回收利用的优

先方法, 仅适用于无法进行再生利用的混合废塑料。如上海江桥生活垃圾焚烧厂采用炉排炉焚烧辅以活性炭喷射的工艺系统, 将受严重污染的废塑料投入焚烧炉, 回收热量用于发电。废塑料高炉喷吹技术如图 14 所示, 其能量利用率可达 80%, 同时可极大降低有害物质的产生与排放<sup>[28]</sup>。

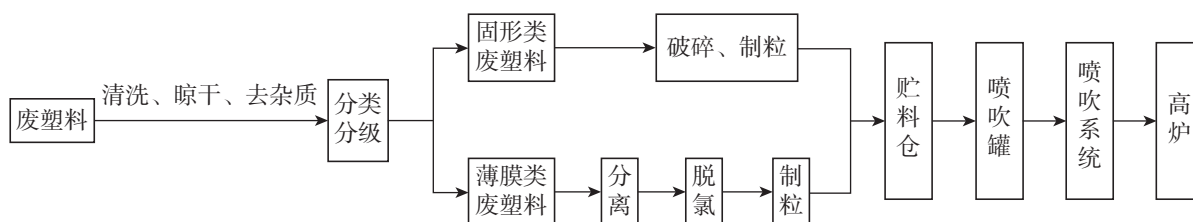


图 14 能量回收-高炉喷吹技术

Fig. 14 Energy recovery-blast furnace injection technology

## 4 优化策略

随着生活垃圾分类制度的全面推进与“两网融合”模式探索,上海市生活垃圾废塑料的分类回收体系逐步完善、回收再利用量逐步提升,但仍存在一些问题亟待解决与优化。

### 4.1 统一分类回收标准,完善低值废塑料补贴

上海虽已基本实现“两网融合”回收体系构建,但废塑料回收类别尚缺少统一标准规范,不同城区、不同社区对废塑料的回收类别差异较大,部分社区只回收 PET 饮料瓶、PP 餐盒、HDPE 日化包装和 PS 泡沫塑料,而部分社区还同时回收 LDPE 快递包装及亚克力板等;当前废塑料的回收类别主要凭居民或环卫工作者依据回收价值高低自行决定回收类别,缺乏统一标准与规范<sup>[16]</sup>。后续需根据当前再生技术能力,推动形成统一的废塑料分类回收标准,细化废塑料回收类别,规范生活垃圾废塑料分类回收工作。

在低价值废塑料回收方面,目前全市尚无统一补贴政策,市-区-街镇-企业未能就落实补贴机制达成一致,低值废塑料回收处理企业积极性低<sup>[29]</sup>。后续可探索制定统一的低价值废塑料回收市级补贴政策、明确补贴标准,以切实推动低值废塑料的分类回收与再生利用。

### 4.2 推动废塑料回收技术创新

当前废塑料再生利用企业多采用物理回收技术实现废塑料再生利用<sup>[30]</sup>,但该方法对前端分拣能力依赖大且多为降级利用,整体资源化水平不高。后续需加大科技创新力度与科研投入,扩大利用自动化分拣系统以减少成本、提高效率,通过改性技术提高再生料性能,着重在降低 PET 同级利用处理成本、提高废塑料同级利用率等方面发力,加快推动新技术试点工作,推动企业技术升级与产业整体高水平发展。

### 4.3 强化宣传教育与信息公开

调研发现,目前仍存在大量居民不了解生活垃圾中除饮料瓶外其他废塑料的回收价值,影响废塑料的分类回收。后续可通过媒体、宣传栏、社区宣传等多渠道、多方式加强废塑料分类回收宣传教育。同时,加强废塑料回收信息公开,让市民了解废塑料的分类回收与再生利用行业现状,提高居民参与塑料分类回收的积极性。

### 4.4 强化回收参与主体监督与管理

当前废塑料回收行业中仍存在大量无组织、无管理回收个体和无证小废品站等<sup>[31]</sup>,影响主体企业废塑料回收量与技术更新动力。对此,需健全废塑料回收参与主体监管体系,对回收个体、组织、企业进行备案登记,并定期进行检查评估,确保其规范化运营。同时,加强对回收过程中的环境保护、安全生产等的监督管理,对违法违规行为进行严肃处理。

## 5 结 语

上海作为超大城市及全国首个全面实行生活垃圾分类的城市,随着回收体系逐步完善废塑料回收量逐渐提升,分类回收的废塑料以 PET、PP、HDPE 为主,低值废塑料分类回收随着各区逐步推出低价值可回收物的补贴政策也有了一定进展,但总体回收率仍较低。其他垃圾(干垃圾)中仍存在一定量具回收潜力的废塑料,主要以 PET、PP 为主,是后续进一步提高塑料分类回收利用率的主要抓手。

废塑料的再利用技术方面,目前以物理熔融回收为主并辅以一定量的化学回收和能量回收,其中 PP、PE、PS 多采用物理回收技术, PET 多采用化学回收技术中的醇解法实现同级利用,混合废塑料多采用热裂解技术回收再生油、汽等,无法进行再生利用的混合废塑料主要通过焚烧技术实现热量回收用于发电。

目前上海在生活垃圾废塑料回收再利用方面取得了较大进步,但后续仍需在分类回收标准制定、低值废塑料补贴制度完善、回收利用技术创新、分类回收知识宣传与信息公开、回收主体监督管理等方面开展深入探索,从而推动生活垃圾废塑料分类回收再利用行业的高质量、可持续发展。

### 参考文献:

- [1] 国家统计局. 国家统计局年度数据 [EB/OL]. [2023-07-24]. <http://www.stats.gov.cn>.
- [2] 中国物资再生协会再生塑料分会. 中国再生塑料行业发展报告 (2021—2022) [R]. 北京: 中国物资再生协会再生塑料分会, 2022.
- [3] 王琪, 瞿金平, 石碧, 等. 我国废弃塑料污染防治战略研究 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(1): 160-166.
- [4] 王茹. “碳中和”目标下我国中小型塑料薄膜企业的低碳发展路径 [J]. 塑料助剂, 2023(1): 65-67.

- [5] 张鑫, 全淑苗. 基于中国政策的废旧农膜回收再利用现状研究 [J]. 中国塑料, 2022, 36(7): 136-142.
- [6] 史小慧, 况前, 陈严华, 等. 城市生活垃圾中废塑料的资源化利用 [J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(2): 90-92.
- [7] 朱云, 粟颖, 韦彩嫩, 等. 广州市生活垃圾中低值废塑料特性及管理对策研究 [J]. 再生资源与循环经济, 2020, 13(9): 15-18.
- [8] 新华社. 我国将于 2025 年底前基本实现垃圾分类全覆盖 [EB/OL]. [2023-07-24]. [https://www.gov.cn/govweb/lianbo/bumen/202305/content\\_6875926.htm](https://www.gov.cn/govweb/lianbo/bumen/202305/content_6875926.htm).
- [9] 新华社. 《上海市生活垃圾管理条例》正式实施沪上垃圾分类迈入“硬约束”时代 [EB/OL]. [2023-07-24]. [https://www.gov.cn/xinwen/2019-07/01/content\\_5405044.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2019-07/01/content_5405044.htm).
- [10] 绿色上海. 2022 年下半年度生活垃圾分类实效综合考评结果出炉 [EB/OL]. [2023-07-24]. <https://mp.weixin.qq.com/s/r30sH8tAi-83rKpRvQyaEQ>.
- [11] 上海发布. 2023 年上半年度生活垃圾分类实效综合考评结果公告 [EB/OL]. [2023-07-24]. <https://mp.weixin.qq.com/s/6ZR.21iza7GJKeI8TwjGOg>.
- [12] 上海市生活垃圾分类减量推进工作联席会议办公室. 上海市生活垃圾分类减量推进工作联席会议办公室关于印发《上海市可回收物体系规划实施方案》的通知 [EB/OL]. [2023-07-24]. <https://recycling.sww.sh.gov.cn/zwgg/898.jhtml>.
- [13] 上海市再生资源回收公共信息服务平台. 上海市两网融合回收体系建设导则 [EB/OL]. [2023-07-24]. <https://recycling.sww.sh.gov.cn/hybz/882.jhtml>.
- [14] 上海市发展和改革委员会. 关于印发《上海市废旧物资循环利用体系建设实施方案》的通知 [EB/OL]. [2023-10-22]. [https://fgw.sh.gov.cn/fgw\\_gfxwj/20231016/a99fd005bb4548e4baae679b7da277d3.html](https://fgw.sh.gov.cn/fgw_gfxwj/20231016/a99fd005bb4548e4baae679b7da277d3.html).
- [15] 上海市统计局. 上海市国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. [2023-07-24]. <https://tjj.sh.gov.cn/tjgb/index.html>.
- [16] 张寅. 生活源低价值可回收物收运处置体系建设探讨: 以上海市嘉定区为例 [J]. 能源与环境, 2022(3): 104-106.
- [17] CHU J W, ZHOU Y, CAI Y P, et al. Flows and waste reduction strategies of PE, PP, and PET plastics under plastic limit order in China [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2023, 188(1): 106668.
- [18] 梁吉东, 黎军. 生活垃圾塑料分选及利用技术 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(9): 172-173.
- [19] CHEN X, WANG Y D, ZHANG L. Recent progress in the chemical upcycling of plastic wastes [J]. ChemSusChem, 2021, 14(19): 4137-4151.
- [20] 赵娟. 废塑料回收利用的研究进展 [J]. 现代塑料加工应用, 2020, 32(4): 60-63.
- [21] 孙昱楠, 张帆, 李建园, 等. 废塑料处置与利用技术研究进展 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(3): 182-196.
- [22] 翟好山, 王学涛, 邢利利, 等. 废塑料催化热解技术及其催化剂研究进展 [J]. 工业催化, 2023, 31(4): 1-8.
- [23] 刘文璐, 张晓红, 乔金樑. 废塑料化学回收技术研究进展 [J]. 塑料工业, 2022, 50(9): 1-7.
- [24] 黄蓉. 废 PET 乙二醇醇解单体 BHET 的离子交换树脂脱色研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2021.
- [25] 李永贵, 卮友兵, 李准准, 等. 聚酯纤维乙二醇醇解法 (II): 醇解产物表征 [J]. 纺织学报, 2007, 28(12): 12-15.
- [26] 薛志宏, 刘鹏, 高叶玲. 废旧塑料回收与再利用现状研究 [J]. 塑料科技, 2021, 49(4): 107-110.
- [27] VOLLMER I, JENKS M J F, ROELANDS M C P, et al. Beyond mechanical recycling: giving new life to plastic waste [J]. Angew Chem Int Ed Engl, 2020, 59(36): 15402-15423.
- [28] 常凤. 塑料的产量、性质与高炉喷吹技术 [C]//2019 年全国高炉炼铁学术年会摘要集. 贵阳: Chinese Engineering Science Press, 2019: 175-184.
- [29] 粟颖. 生活垃圾中废塑料回收与再生利用现状及展望 [J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(12): 112-115.
- [30] 赵爱华, 邵俊, 车越, 等. 上海生活源可回收物资源化特点分析及协同管理机制研究 [J]. 环境卫生工程, 2022, 30(6): 70-76.
- [31] 王红秋, 付凯妹. 新形势下我国废塑料回收利用产业现状与思考 [J]. 塑料工业, 2022, 50(6): 38-42.