



废弃塑料包装材料的资源化再利用特性分析

中国包装科研测试中心 王振华 付振喜

摘要：废弃塑料包装材料的资源化再利用符合循环经济和低碳理念，具有重要的环保和可持续发展战略意义。本文从塑料包装材料的循环利用特性出发，对PE、PP、PS、PET、PVC等废弃塑料包装材料的资源化利用途径、再生循环工艺技术等进行了综述，为废弃塑料包装材料的再生循环利用生产实际提供了参考。

关键词：废弃塑料 再生 循环 资源化

前言

塑料制品被广泛应用于食品、家电、汽车、建筑、电子电器、信息科技及通讯等各个包装领域。同时废弃塑料对环境也造成了严重的污染。废弃塑料的资源化再利用对治理“白色污染”具有积极意义，既可保护环境，又可以开辟新材料的使用。废弃塑料最理想的处置方式是将其视为可再生资源加以回收再利用，废弃塑料被人们称为“人类的第二矿藏”。在我们这样资源紧缺、人口众多的国家，废弃塑料资源化再利用，符合循环经济和低碳理念，对可持续发展具有重要的战略意义。

1. 废弃塑料包装材料的再生利用现状

塑料分为热塑性塑料和热固性塑料，几乎所有的热塑性塑料都有回收利用的价值。酚醛、三聚氰胺甲醛、环氧、不饱和聚酯、有机硅等塑料，都是热固性塑料。热固性塑料加热不熔融，不可能重新作用材料，也很难用热分解法油化。可将热固性塑料粉碎以代木粉用作酚醛树脂的增强材料，与传统制品相比，耐水性和绝缘性都大大提高。热塑性塑料按照树脂品种分为聚乙烯(PE)包装制品、聚丙烯(PP)包装制品、聚氯乙烯(PVC)包装制品、聚偏二氯乙烯(PVDC)包装制品、聚苯乙烯(PS)包装制品、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)包装制品、聚酰胺包装(PA)制品、聚碳酸酯(PC)包装制品等。每种树脂的包装制品按照存在的包装物形状又可分为膜、片材、容器、泡沫、打包带等。

对于单一的废弃塑料包装材料的回收，国际上，其再生方法有物理再生、化学还原和用作固体燃料的能量回收等。对于废弃塑料共混物，可经过共混增容改性回收技术，来提高原来废弃塑料的力学性能，制作性能优良的材料。例如：对于PE、PP、PVC三元共混物，除了加入相容剂 CPE、EPR外，还可利用反应挤出技术制备合金，如马来酸酐或马来酸酯进行接枝反应来增容。此类共混物和木粉混合后同样可制作塑木制品。

2. 废弃塑料包装制品的资源化利用分析

我国参照美国塑料协会提出并实施的材料品种标记制定了GB/T16288-1996“塑料包装制品回收标志”，包装用塑料用品在瓶底或者盒底标注了一个可循环利用的标志，可据此来鉴别包装塑料的类别及材质，各种聚合物对应的标识代码见表1。

表1 塑料循环利用标识

	塑料名称	缩写代码	回收识别标志
1	聚酯	PET	01
2	高密度聚乙烯	HDPE	02
3	聚氯乙烯	PVC	03
4	低密度聚乙烯	LDPE	04
5	聚丙烯	PP	05
6	聚苯乙烯	PS	06
7	其他塑料代码	others	07

对于没有识别标识的塑料，可根据塑料的外观、密度加热时的软化与熔融温度、在不同溶剂中的溶解性等特性来

识别不同的废弃塑料的种类^[1]。另外，用分光镜法快速准确地识别回收聚合物的种类，是回收技术产业化最成功的范例。其基本原理是利用不同高聚物对光波的吸收能量不同以示区别。当回收的废弃塑料包装材料经过一个探测器（红外线或X光），电脑系统会识别出该物质的类型，同时决定该塑料包装材料是否应该从物流中剔除^[2-3]。

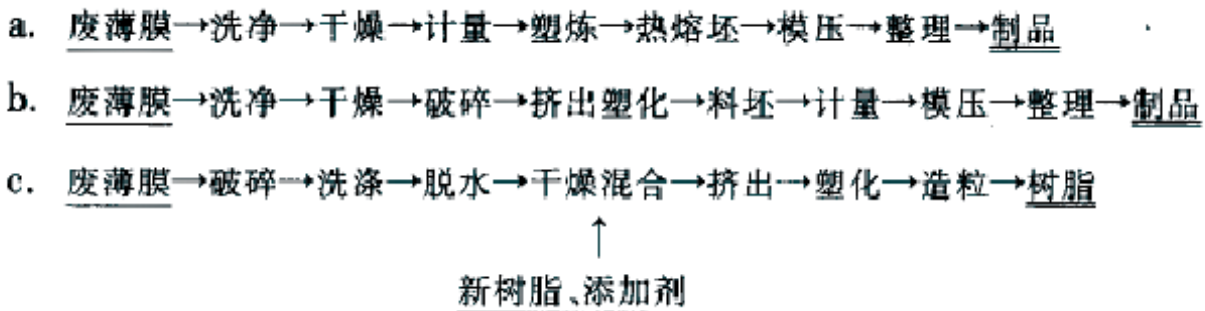
废弃聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）、聚苯乙烯（PS）、聚氯乙烯（PVC）、聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）残次品和边角料的回收利用工艺比较简单，一般品种不需另加助剂，加工工艺主要是将废料（包装膜、袋等）粉碎再加入新料混合、挤出、吹塑、注塑等。另外，PE、PP、PS作为碳氢化合物，具有较高的燃烧热能。对于此类不能再循环利用的塑料制品，可作为能源回收。但是必须满足所需能量低于所得能量，才有进行能量回收的价值。还可以将PP等废塑料转化为燃料油。通常可分为高温裂解和催化裂解两种方法。日本东北大学、东北电力公司、三菱重工公司均开发出用超临界水解分解PP等废塑料的转化技术，燃料油收率可达80%^[4]。总括回收的废塑料，除去PVC后，可作为高炉还原剂、水泥窑燃料，或利用油化、气化等方法回收利用，也可与可燃垃圾混合回收，制成RDF（固体垃圾燃料）或直接焚烧，作为热能回收用于发电等。

许多塑料包装容器如托盘、周转箱、大包装盒、塑料桶等用于运输包装的硬质、光滑、干净、易清洁的较大容器，经一次使用甚至多次使用仍然完好，只需稍作修整和清洁消毒就可以重复使用。其复用技术处理工艺一般为：分类→挑选（刚用后丢弃的，基本无污染、无划痕、透明、光滑）→水洗→酸洗→碱洗→消毒→水洗→亚硫酸氢钠浸泡→水洗→蒸馏水洗→50℃烘干→再使用。以下具体介绍PE、PP、PS、PET、PVC的资源化再利用特性。

2.1 废弃聚乙烯（PE）

聚乙烯化学稳定性好，能耐大多数酸碱的侵蚀（不耐具有氧化性质的酸），常温下不溶于一般溶剂，大量用作食品包装材料。

对于聚乙烯制品而言，薄膜制品是回收利用的重点，其它的如单丝编织类、容器类也是容易回收利用的主要废弃聚乙烯制品。废弃薄膜经过加工可以直接转化成塑料颗粒，不过，在加工之前，必须将回收的薄膜清洗干净，检查是否有杂质。通过精细操作，97%的废弃PE薄膜可以转化为再生颗粒，从而促进废弃PE薄膜的有效利用，聚乙烯废弃物制成塑料颗粒或再生农膜是值得肯定的一种方案。废弃PE薄膜的处理工艺如下：



PE周转箱由于在使用和运输过程中长期受到紫外线照射，其力学性能等严重下降而成为废品。因此必须对回收的废弃PE周转箱加入抗氧剂、抗紫外线等稳定剂进行改性，其再生制品的力学性能等才能有所改善，废品才能重新得到有效利用。再生料可用于制造管、桶、隔栅、新的饮料瓶杯形底、花钵垃圾箱、厨房用滴水板等^[5]。PE瓶料，如奶制品瓶，食品瓶，化妆品瓶等，经分选，清洗后的PE回收瓶可经粉碎选料，可用于管材共挤出中间芯层、用于土木建筑材料等。

2.2 废弃聚丙烯（PP）

聚丙烯（PP）是一种性优价廉，用途广泛的通用树脂，具有优良的机械性能、加工性能，并且安全性较好。

在生产过程中产生的边角废料可直接回收利用。可直接回收利用的还包括那些易于清洗、挑选的一次性使用废弃物，如聚丙烯编织袋、仪表盘等。这种直接利用的聚丙烯将废旧聚丙烯经过清洗、破碎、塑化直接加工成型或通过造粒后加工成型制品，优点是工艺简单，再生制品成本低廉，缺点是再生材料制品的力学性能下降较大，不宜制作高档次的制品。废旧聚丙烯可再生为粒料、絮状料等，返回与原树脂混合，制造与原树脂同用途的制品或将其熔融固化，直接成型制造各种制品。废聚丙烯塑料进行直接再利用的条件是其成分比较单一，老化程度低，其性能与新料差不多。

回收PP耐冲击性能尤其是耐应力开裂性能差，且低温性能差。这些性能特征是由PP聚集态结构和大分子链构造决定的，可用聚乙烯进行改性。如在废弃PP中掺入10%~25%高密度聚乙烯（HDPE），其改性后的共混物在-20℃时冲击强度比PP提高8倍以上，而且加工流动性增加，可适用于大型容器的注射成型。用碳酸钙、滑石粉等矿物填充改性聚丙烯可以使其获得优良尺寸稳定性。

2.3 废弃聚酯（PET）

聚酯的外观呈乳白色或者浅黄色，表面平滑而有光泽。在包装行业中常将PET（聚对苯二甲酸乙二醇酯）简称为聚

酯。

食品领域中的碳酸饮料、矿泉水、食用油等产品包装几乎都是聚酯瓶。PET材料制作的可乐瓶、汽水瓶等包装软饮料材料，回收后经过清洗直接用于灌装。这种方法在欧洲部分国家用于食品包装中，其中以德国为首。例如：食用油聚酯瓶，再生使用后被回收利用用作同类产品的包装。这种将原来包装什么产品的包装容器，用完内容物丢弃后，再回收用作原来包装物料的包装回收利用方式，回收利用的周期最短，效益最高，是最值得提倡的回收利用方式。饮料（可乐类）聚酯瓶、矿泉水聚酯瓶、洗发小塑料瓶等，这些包装容器一般回收后，不能再利用作原物料的包装，例如：饮料（可乐类）聚酯瓶可能被用于包装蜂蜜、洗发水、洗洁精、汽油等而决不会再用于灌装可乐等饮料。这类包装的回收利用属于废物包装，也是一种节能省时的包装的资源化回收利用方式，也是应予以提倡的回收利用方式。

废聚酯的回收方法主要是物理回收法和化学回收法。物理回收法有重力分选、清洗、干燥、造粒等工艺。化学回收法是在物理回收的基础上将干净的PET分解、醇解、水解等。化学回收法将固态的聚合物材料解聚，使其转化为较小的分子、中间原料或是直接转化为单体。对于聚酯来说，化学回收法可使聚酯链断裂成低相对分子质量的对苯二甲酸乙二醇酯（BHET）中间体或是完全降解为精对苯二甲酸（PTA）或对苯二甲酸二甲酯（DMT）和乙二醇（EG）。聚酯（PET）资源化再利用途径可采用以下两种方式：（1）通过化学回收方法PET聚酯可解聚成低分子量的物质，如：对苯二甲酸（TPA）、对苯二甲酸二甲酯（DMT）^[6]等这些低分子量的物质，经纯化可重新作为聚酯原料或制成其他产品。（2）利用废PET聚酯制备不饱和聚酯。通常以二元醇醇解PET，解聚产物作为不饱和聚酯树脂的原料，生产采用不饱和聚酯生产装置，在CO₂或N₂保护下，设备简单，原料廉价，具有较好的经济效益和社会效益^[7]。

2.4 废弃聚苯乙烯（PS）

聚苯乙烯的外观无色透明，似玻璃状，光泽和透明度均优于其他塑料，性脆易断，敲打时有清脆的金属声。

广泛使用的快餐食品盒、方便面盒及各种缓冲包装，是发泡聚苯乙烯（PS）塑料。发泡PS塑料所包装的商品量大面广、流动性也大，因此它是“白色污染”的主要代表。将发泡聚苯乙烯包装，通过加入溶解剂使之溶解成液体，这种聚苯乙烯可用作瓦楞纸箱上的防潮剂、上光剂、同时可作为胶黏剂主料，用于建材防漏或者防堵剂，还可用作防水涂料等。也可以通过新技术，进行资源化再利用。可采用以下新技术：（1）制造芳香族化合物。日本正在进行以废弃塑料为原料制取化工原料新技术的实用化研制开发，其方法是把PS等废弃塑料加热到300℃，使之分解为碳水化合物，然后加入催化剂，即可合成苯甲苯和二甲苯等芳香族化合物^[8]。（2）水泥减水剂。通过对废弃聚苯乙烯泡沫塑料进行改性处理，可将其制成水泥减水剂，从而使水泥砂浆搅拌用水量节约20%，并能使混凝土强度增大38%^[9]。我国水泥混凝土搅拌中减水剂的年需求量高达200万吨，因此这一技术拥有将当广阔的产业化前景。

2.5 废弃聚氯乙烯（PVC）

聚氯乙烯其化学稳定性好，不易被酸、碱腐蚀；聚氯乙烯具有阻燃（阻燃值为40以上）、耐化学药品性高等优点。但其耐热性较差，长时间加热会导致分解，放出HCl气体。

聚氯乙烯本身并无毒性。但所添加的增塑剂、防老剂等主要辅料有毒性。聚氯乙烯塑料制品在较高温度下，如50℃左右就会慢慢地分解出氯化氢气体，这种气体对人体有害。一旦氯乙烯单体含量超标或选用了不合适的添加剂，就可能引起聚氯乙烯包装薄膜使用过程中与食品接触的安全问题。另外，PVC在需用焚烧方式处理时，会产生HCl和一种叫二恶英（dioxin）的致癌物对环境和人体造成不利影响。基于此，国际上许多国家的环保部门已颁布相关法规禁止或限制PVC的大量使用，欧洲各国、日本、新加坡、韩国、台湾地区已全面禁止PVC作为包装材料。国内相关行业应制定相关法律、法规限制PVC包装薄膜的使用，同时大力开发新的环保、安全的替代品材料。

3. 结论与展望

废弃塑料回收后存在很多技术难题，如分类、加工工艺、加工技术、经济效益、市场前景等，目前尚缺乏有效的技术指导。本文从废弃包装材料的资源化再利用特性着手，给出了回收利用途径与方法、新技术、限定与推荐建议等，为塑料资源化利用生产实际提供了一定的参考。废塑料再生利用是一项系统工程，也是绿色事业，涉及产业、立法、公众意识、环保等社会的各个方面，具有重大的经济、社会和环境效益。在注重发展废弃包装塑料技术的同时，还应制定相应法律、法规，对塑料的废弃、收集、使用、设计制造进行强制性的规定。总之，回收废弃塑料，是资源的再利用，具有广阔的开发利用前景。

参考文献

- [1] 杨压莉. 废旧塑料的简易分类方法[J]. 再生资源与循环利用, 2009, 2(4).
- [2] 刘均科. 塑料废弃物的回收与利用技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000: 10-19.
- [3] 王宁, 王益龙, 李莉等. 废饮料瓶的处理利用技术新进展[J]. 工程塑料应用, 2007, 35(12): 84-87.
- [4] 李青山, 徐振海. 塑料再生与利用的新进展[J]. 化学通报, 2000, (3), 1721.
- [5] 张燕春, 我国废弃聚乙烯的回收及其利用[J]. 中国资源综合利用, 2003(9) 8-9.
- [6] 黄发荣, 陈涛, 沈学宁. 高分子材料的循环利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 258-277
- [7] 王慧等, 废弃PET聚酯塑料循环利用的应用研究进展[J]. 工程研究1(4): 305-313 (2009).
- [8] HODEKW, FUERTUEST, VANHEEKH. The liquefiable proceeding of waste plastics in supercritical

water[J]. Erdoel Erdgas Kohk 1995, 1995, 111(9):376.
[9]刘晓波. 废弃塑料的再利用[J]. 安徽科技, 2001 (3) :34.

基金项目：国家十一科技支撑计划项目(2006BAC02A13)

中国包装杂志社 版权所有
地址：北京市东城区东黄城根北街甲20号 邮编：100010
电话：(010)64036046 64057024 传真：(010)64036046
E-mail: zazhi@cpf.org.cn