

塑料包装废弃物的再生利用

贺全国, 聂立波

(湖南工业大学 绿色包装与生物纳米技术应用省重点实验室, 湖南 株洲 412007)

摘要: 塑料包装在整个包装产业中占有极大比例, 其废弃物的处理给国际社会减碳减排发展带来了巨大挑战。结合国内外对塑料包装废弃物的管理现状, 分析了塑料包装废弃物的来源、分类和化学组成, 阐述了国外塑料包装废弃物的回收分离技术和设备及国内相应研究现状; 对塑料包装废弃物的再生利用途径进行深入解析, 较全面地阐述了塑料包装废弃物再生利用的原理与研究现状; 提出了塑料包装废弃物再生利用的基本策略建议。

关键词: 塑料包装; 废弃物; 再生利用

中图分类号: X783

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2011)05-0001-05

Recycling of Plastic Packaging Wastes

He Quanguo, Nie Libo

(Provincial Key Laboratory of Green Packaging and Biological Nanotechnology Application,
Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: The plastic packaging accounts for a very great proportion in the packaging industry, and the plastic packaging wastes (PPW) disposal brings great confrontation and challenge for global carbon emission reduction development. Based on the international practical PPW management, analyzes the source, classification and chemical composition for PPW and expounds the recycling separation technology and apparatus at aboard and the domestic research status; Resolves various PPW disposal approaches and elaborates comprehensively PPW regeneration principles and practices; Presents strategic suggestions on recycling and utilization of PPW.

Keywords: plastic packaging; wastes; recycling

0 引言

随着包装行业的迅速发展, 商品包装日趋繁华, 包装物种类多样化。其中塑料包装材料以其质量轻、强度高、耐腐蚀、易加工等优良性能, 在整个包装行业中发挥着不可替代的作用。目前, 全世界每年产生的塑料废弃物约 5 000 万 t, 且塑料废弃物每年

以 5% 左右的速度增长^[1-2]。塑料在为人类生产生活发展做出巨大贡献的同时, 也给环境造成了的不容忽视的污染问题, 即所谓的“白色污染”^[3-4]。所以, 回收、处理和利用废弃塑料已到了刻不容缓的地步。塑料包装废弃物的再生利用是一项变废为宝、循环利用、节省资源的可持续发展事业, 是解决生态环境污染的重要途径, 是利国利民、节约增产的重要

收稿日期: 2011-07-13

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助项目(08A013), 湖南省自然科学基金资助项目(11JJ6038, 11JJ5042)

作者简介: 贺全国(1973-), 男, 湖南常德人, 湖南工业大学教授, 博士, 主要从事生物传感, 纳米功能材料的研究,

E-mail: hequanguo@126.com

环节。Muthu 等^[5]对中国大陆、香港和印度的塑料购物袋的碳足迹进行了研究,结果显示:回收再利用的塑料袋碳足迹值比未使用过或未处理过或直接填埋的塑料袋碳足迹值要低得多,这表明回收再利用的塑料袋对环境的污染较小。美国塑料委员会 15 届年会发布的塑料回收最新研究报告显示,2004 年是美国塑料瓶回收利用率提升最快的年份,其回收量增加了 11.2 万 t,总量达 54 万 t,回收率达 22.6%。而英国从上世纪 80 年代后期就开始了废塑料的回收循环,目前,已建造了许多新的再生设备,并有 10 多家公司愿意购买再生塑料容器,进行塑料瓶再生的机构是 RE-COUP,该机构在英国三分之一以上的地区建立了塑料瓶回收组织。瑞士是首批循环利用塑料瓶的国家之一,目前,对使用过的塑料瓶的回收率已达 80% 以上,瑞士政府明文规定,企业只有在使废弃的塑料瓶回收率达 75% 的情况下才能获准广泛生产与使用塑料瓶。我国每年产生的废弃塑料约 100 万 t,废弃塑料量约占塑料产量的 70%^[6]。其中塑料包装废弃物所占比例较大,但每年塑料回收利用率却很低,几乎不到废弃塑料总量的 20%^[7]。因此,合理回收、再生利用塑料包装废弃物已经成为公众关心的热点问题,也是亟待解决的一大难题。本文以此为核心概述塑料包装废弃物的处理、循环再生的方法和应用前景。

1 塑料废弃物的回收分离

1.1 塑料包装应用领域及其废弃物来源

塑料根据其自身的性能可以分成两大类:一类是可以多次反复进行熔融成型加工且基本能保持其特性的热塑性塑料,另一类是只能进行 1 次熔融成型的热固性塑料。在包装方面常用的大部分是热塑性塑料,主要有聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)、聚氯乙烯(PVC)、聚氨基甲酸酯(PU)、酚醛树脂(PF)等^[8]。塑料包装制品种类繁多,一般可分为膜、袋、瓶、大型运输容器、浅盘和托盘等,且每一包装形态又根据用途和所用材料不同而分为很多品种。塑料包装主要用于普通食品包装、食品保鲜抗菌、运输及各种行业的商品包装等。

塑料包装废弃物的主要来源有:1)生活垃圾。包括食品包装袋、蔬菜肉类包装薄膜,各种饮料的塑料容器,各类商品的外包装等。2)工业生产废料。装液体用塑料桶,工业材料包装袋,托盘、周转箱、大包装箱以及大型物料运输容器等。常见塑料废弃物的化学组成成分如表 1 所示。

表 1 塑料包装废弃物化学组成

Table 1 Plastic packaging wastes chemical composition

缩写	英文全称	化学组成	包装塑料材料
PP	Polypropylene	聚丙烯	
PS	Polystyrene	聚苯乙烯	
EVA	Ethylene/vinyl acetate	乙烯 / 醋酸乙烯共聚物	EVA 树脂
PSU	Polysulfone	聚砜	
PTFE(F4)	Polytetrafluoroethylene	聚四氟乙烯	
PUR	Polyurethane	聚氨酯	聚氨基甲酸酯
PU	Polyurethane	聚氨酯	聚氨基甲酸酯
PVC	Poly(vinyl chloride)	聚氯乙烯	
PA	Polyamide (nylon)	聚酰胺	尼龙、锦纶
PAI	Polyamide-imide	聚酰胺-酰亚胺	
PBT	Poly(butylene terephthalate)	聚对苯二甲酸丁二酯	聚酯
PC	Polycarbonate	聚碳酸酯	
PE	Polyethylene	聚乙烯	
PEI	Poly(etherimide)	聚醚酰亚胺	
PES	Poly(ether sulfone)	聚醚砜	聚苯醚砜
PET	Poly(ethylene terephthalate)	聚对苯二甲酸乙二酯	涤纶(线型)树脂
PF	Phenol-formaldehyde resin	酚醛树脂	电木粉、胶木粉
ABS	Acrylonitrile-butadiene-styrene	丙烯腈 / 丁二烯 / 苯乙烯共聚物	ABS 树脂

1.2 塑料包装废弃物的回收分离

塑料包装废弃物回收分离的关键在于开发相关技术(自动分选分类技术、自动回收清洁处理技术和回收处理生化技术)及设备。包装废弃物自动分选分类技术及设备国外已投入使用,但国内企业还难以承受其昂贵的价格,因此亟待创新,进行改型设计或自主开发。自动回收清洁处理技术及设备,是对分选回收后的包装废弃物按材质分类清理清洗、分类回收或再生的技术和设备。分离方式一般由废弃物的性质决定,有重力沉淀分离、静电分离和泡沫浮选分离等。如 Pongstabodee 等^[9]用下沉-上浮分离法在氯化钙水溶液中将 PS 和 ABS 从 PET 和 PVC 中分离出来。Carvalho 等^[10]利用流化床技术将低品位(在原材料中品味 1.6%) PS 从 PET 和 PVC 中分离出来,得到高品位 PS (83%)。Reddy 等^[11]利用选择性扭曲成型和重力分离法将含氯的塑料膜(如 PVC 和 PVDC)从形形色色的重质 PPW 塑料包装膜中分离出来。回收处理生化技术是利用酶催化技术,使包装废弃物在无热、无能源消耗的情况下,实现无污染的变性转化与降解^[12]。

2 塑料包装废弃物的再生利用

总的来讲,废弃塑料包装材料再生利用的方法

主要有:回收循环复用,机械性再生利用,化学性再生利用,回收能量和生物降解利用等^[13]。图1描述了塑料包装废弃物的不同处理途径^[14]。

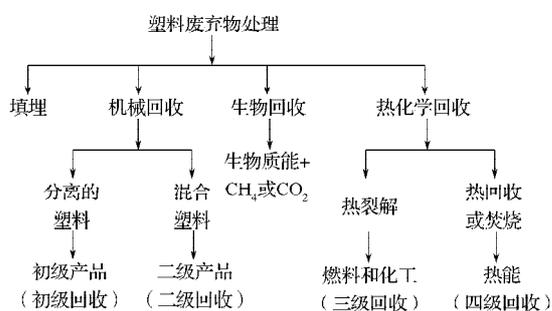


图1 塑料包装废弃物的不同处理途径

Fig. 1 Plastic packaging wastes disposal approaches

2.1 回收循环复用

回收循环复用是指没有加工处理的过程,而是通过清洁后直接重复使用^[15]。技术处理工艺为:分类和挑选—将符合基本要求的塑料包装进行水洗—酸洗—碱洗—消毒—水洗—亚硫酸氢钠浸泡—水洗—蒸馏水洗—50℃烘干—再利用^[16]。这种方法主要是针对一些硬质、干净、光滑、易清洗的较大容器,如托盘、周转箱、包装盒及大容量的饮料瓶、盛装液体的桶等,这些容器经过技术处理,卫生检测合格后即可重复使用。

2.2 机械性再生利用

机械性再生利用首先将塑料包装废弃物进行种类分选,根据不同材料进行不同处理;接着进行机械性地破碎,进一步除去金属等非塑料物;然后用一些溶剂对其进行洗涤除杂;再进行干燥;最后加工成再生颗粒。而这种再生颗粒要成为产品,必须解决其色泽差、异味、劣化等问题。然后根据不同需要,掺和新的树脂以改善品质,或通过多层成型、层压成型等技术来改善废弃材料中所带来的色泽不均及异味问题^[17]。

机械性再生利用法可以利用的废弃塑料包括:农业用薄膜(PVC, PET),工业边角废料、PVC管,汽车部件(PP),塑料货箱(PP, PE)以及塑料瓶(PET, PVC, PP, PE)。下面以农用薄膜为例,简单介绍机械性再生利用法的应用。

农用薄膜一般使用PVC及PET,所以在分类方面比较简单,较麻烦的是农用薄膜上一般都粘附着一些砂土、化肥、农药等复合污染物。在再生过程中,首先将其剪为15 cm见方的小片,以除去较大的杂物。由于这些薄膜上粘附着20%左右的砂土、化肥、农药,需将上述薄膜片在水槽中进行杂质分离,然后进行粉碎,把混入的PE用水比重差分法分离,最

后脱水制成软纤维或颗粒。PVC经脱色、去异味处理并制成颗粒后,再根据不同的需要,加入一定比例的新PVC材料制成产品。

机械性再生利用法是一种效果较好,无环境污染的非化学回收手段^[18]。不采用化学试剂分解,而是纯物理方法,充分利用废弃物的同时,也更好地保护了环境。相信这种方法在今后的发展中能有更好的突破。

2.3 化学性再生利用

化学处理再生利用是将包装废弃塑料经过热分解或化学试剂的作用后,使其结构被破坏,产物可为单体、不同聚体的小分子和大分子化合物等化工产品。这种回收处理方式可使自然资源的使用形成一个封闭的循环,此种再生处理方式有着显著的优点:分解生成的化工原料可以在质量上与新的原料相媲美,可与新材料等同使用。化学处理再生利用的主要方法有热分解和化学分解2类^[19]。

2.3.1 热分解

热分解的基本原理是:在缺氧条件下,将废弃塑料包装制品中的原树脂高聚物利用热能使化合物的化合键断裂,由大分子量的有机物转化成小分子量的燃料气、液状物(油、油脂等)及焦炭等。热分解与焚烧不同,焚烧是在充分供氧的条件下加热有机物,使有机物完全氧化,生成稳定的二氧化碳和水。热分解可依所得产物为油、气、固体或混合体的不同以及工艺的不同分为:油化工艺、气化工工艺及炭化工艺。热裂解法是塑料废弃物热分解的主要方法,因此应用较多。Adrados等^[20]用模拟塑料混合物和真实塑料废弃物为样品,在铝的副产品催化下进行热裂解对比实验,结果真实样品分解成了质轻的气体和固状产物,之后还有少量液态物产生。在中试规模的反应器中, Miskolczi等^[21]运用ZSM-5催化剂,将农业和包装业中的塑料废弃物在520℃条件下进行热裂解,得到多种短链烃、轻重油类和气体等,大部分产物可当作燃料使用。

2.3.2 化学分解

化学分解法是将塑料包装废弃物进行水解或醇解的过程,可将其分解为单体或相对分子质量较小的物质,使其成为新的高分子生产原料。其特点是:产物均匀,易控制,不需进行分离和纯化,生产设备投资少。此法对塑料的纯度要求较高,不适用于混杂型废旧塑料制品,目前,化学分解主要用于聚氨酯、热塑性聚脂、聚酰胺等极性类废旧塑料。

化学分解法主要包括催化剂分解法和试剂分解法。催化剂分解是指在常温常压下加入复合性催化

剂,使塑料分解成原单体。如 Yamada 等^[22]将 PE 放在反应器底部,反应器上方是 Pd/Al₂O₃ 复合催化剂组成的催化剂床,首先加热裂解聚乙烯,然后用其裂解的产物与二氧化碳在催化剂床上发生化学反应,继而生成氢气、甲烷、一氧化碳和乙烷等小分子的物质。试剂分解法一般是采用醇解法,将废弃塑料进行清洁干燥预处理,再加入反应釜,可得到多元醇类产品。

2.4 焚烧热能的利用

焚烧法是处理废弃塑料及垃圾最简单、方便的方法,主要利用燃烧时产生的热量,将其转化成电能等其他能量形式,其主要特点是将已确定为废物的物质转化为能源,发热量可达 5 234 ~ 6 987 kJ/t,与其它燃料油的发热量基本相同,远高于纸、木质类燃料燃烧发热量,且燃烧后的残渣体积小、密度大(其质量可减少 85% 左右,体积可减少 95% 左右^[23-24]),经处理后填埋,既稳定又易于在土壤中解体。焚烧工艺简单,无需前期处理,废物可直接入炉,既节省了人力资源,又能获得高价值的能源,有效地保护了生态环境。但要根据废弃物的特性,对焚烧时产生的废气、废渣进行处理后,才能将其排入大气或进行填埋,以减少废弃物对环境的污染。

2.5 作为改性剂或催化剂再利用

塑料包装废弃物中富含各类高聚物,有些高聚物具有独特的作用,经过简单处理后可用作某类反应的改性剂、偶联剂和催化剂等。如 Fang Changqing 等^[25]用废弃物中的 EVA 作为改性剂,在交联剂和催化剂的作用下对粗柏油沥青进行一般的物理改性,使沥青的性能有了较大的改善。

2.6 生物降解回收再利用

生物回收再利用,除了光降解外还有生物降解法^[26]。这种回收利用方法所处理的塑料跟普通塑料的各项性能基本相同,只是废弃后光降解塑料在光的照射下可自动降解,而生物降解塑料是被环境中的微生物所分解,生物降解型塑料在使用后可与普通生物垃圾一起堆肥(光降解塑料不能用土埋法处理,它只能在有光的环境下降解),而不必花费很大代价进行收集、分类和再生处理。且分解产物进入生态循环,不会产生资源浪费问题^[27]。

在塑料包装废弃物的再生利用、环境保护和资源节省方面,上述再生利用途径发挥着重要作用,但在实施回收利用的过程中会受多种因素的影响,如设备短缺、人员不足、环保意识缺乏以及环境因素等,这是值得注意的问题。Aliaga 等^[28]研究了无线射频识别标签对塑料包装废弃物回收再生利用的影响,

结果证明塑料包装上的识别标签虽然不会影响再生塑料的质量,但会出现操作上的难题,进而带来回收再生的障碍。

3 结语

塑料作为一种主要的包装材料,具有其独特的优点,因此,塑料包装是不可能被其它包装取代的。但塑料包装废弃物不但对环境造成严重的污染,而且也会造成资源的浪费,因此,塑料包装废弃物的回收再生利用是非常必要的,其再生利用途径较多,应根据具体情况采取不同的再生利用方法。我国废旧塑料回收利用技术的开发方向应该是全方位的,针对国内的生产和技术现状,系统地进行技术研究和开发,是废旧塑料回收利用的技术发展方向^[29]。

参考文献:

- [1] 戴宏民,戴佩华.绿色包装材料的研发进展和我国的发展对策[J].包装工程,2004,25(6):4-7.
Dai Hongmin, Dai Peihua. The Research and Development of the Green Packaging Materials and the Developing Countermeasures of Our Country[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(6): 4-7.
- [2] 武瑞之,魏风军.绿色包装机械设计关键技术探析[J].包装工程,2005,26(2):99-101.
Wu Ruizhi, Wei Fengjun. Analysis on Key Technologies of the Green Packaging Machinery Design[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(2): 99-101.
- [3] 尤姗妮.白色污染及其防治[J].资源节约与环保,2010(3):46-47.
You Shanni. White Pollution and Prevention[J]. Resources Economization and Environment Protection, 2010(3): 46-47.
- [4] 赵胜利,黄宁生,朱照宇.塑料废弃物污染的综合治理研究进展[J].生态环境,2008,17(6):2473-2481.
Zhao Shengli, Huang Ningsheng, Zhu Zhaoyu. Development of Comprehensive Treatment of the Waste Plastics Pollution[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(6): 2473-2481.
- [5] Muthu S S, Li Y, Hu J Y, et al. Carbon Footprint of Shopping(Grocery) Bags in China, Hong Kong and India [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(2): 469-475.
- [6] 卢凤英.借鉴国外经验促进我国塑料废弃物回收再利用[J].再生资源研究,2004(1):33-36.
Lu Fengying. Learning the Foreign Experience to Promote the Plastic Waste Recycling in China[J]. Recycling Research, 2004(1): 33-36.
- [7] 丽琴.英、德、美、日的塑料包装回收[J].中国包装工

- 业, 2005(11): 36-37.
- Li Qin. Recovery of the Plastics Packages in England, Germany and Japan[J]. China Packaging Industry, 2005 (11): 36-37.
- [8] 周美延. 包装及包装废弃物管理与环境经济[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 34-36.
- Zhou Meiyang. Packaging, Packaging Waste Management and Environmental Economy[M]. Beijing: Chemistry and Chemical Press, 2007: 34-36.
- [9] Pongstabodee S, Kunachitpimol N, Damronglerd S. Combination of Three-Stage Sink-Float Method and Selective Flotation Technique for Separation of Mixed Post-Consumer Plastic Waste[J]. Waste Management, 2008, 28(3): 475-483.
- [10] Carvalho M T, Ferreira C, Portela A, et al. Application of Fluidization to Separate Packaging Waste Plastics[J]. Waste Management, 2009, 29(3): 1138-1143.
- [11] Reddy M S, Yamaguchi T, Okuda T, et al. Feasibility Study of the Separation of Chlorinated Films from Plastic Packaging Wastes[J]. Waste Management, 2010, 30(4): 597-601.
- [12] 吴伟, 陶德良, 贺全国. 绿色包装材料和技术的应用及展望[J]. 包装工程, 2007, 28(3): 31-33.
- Wu Wei, Tao Deliang, He Quanguo. The Application and Prospect of Green Packaging Material & Technology[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3): 31-33.
- [13] Haikibutsu Gakkai. Haikibutsu Handbook[M]. Tokyo: Published by Ohmsha, Ltd, 1997: 918-936.
- [14] Panda A K, Singh R K, Mishra D K. Thermolysis of Waste Plastics to Liquid Fuel: A Suitable Method for Plastic Waste Management and Manufacture of Value Added Products: A World Prospective[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14(1): 233-248.
- [15] 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: 54-58.
- Liu Junke. Technology of Recycling and Utilization for Plastic Castoff[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2000: 54-58.
- [16] 金声琅, 曹利江. 塑料包装废弃物的回收处理研究[J]. 资源开发与市场, 2008, 24(7): 651-653.
- Jin Shenglang, Cao Lijiang. Study on Recycling Approach for Plastics Packaging Castoff[J]. Resource Development and Market, 2008, 24(7): 651-653.
- [17] Haikibutsu Gakkai. Haikibutsu Handbook[M]. Tokyo: Published by Ohmsha, Ltd, 1997: 922.
- [18] 陈景华. 塑料包装废弃物的回收处理与再利用技术[J]. 出版与印刷, 2002(4): 11-24.
- Chen Jinhua. Recycle Technology of Used Plastic Package [J]. Publishing and Printing, 2002(4): 11-24.
- [19] 朱道平. 塑料包装废弃物回收处理途径及新进展[J]. 环境研究与监测, 2009, 22(3): 81-84.
- Zhu Daoping. Advances and Recycling Approaches for Plastics Packaging Castoff[J]. Environmental Study and Monitoring, 2009, 22(3): 81-84.
- [20] Adrados A, Marco I, Caballero B M, et al. Pyrolysis of Plastic Packaging Waste: A Comparison of Plastic Residuals from Material Recovery Facilities with Simulated Plastic Waste[J]. Waste Management, 2011(in press).
- [21] Miskolczi N, Angyal A, Bartha L, et al. Fuels by Pyrolysis of Waste Plastics from Agricultural and Packaging Sectors in a Pilot Scale Reactor[J]. Fuel Processing Technology, 2009, 90(7/8): 1032-1040.
- [22] Yamada H, Mori H, Tagawa T. CO₂ Reforming of Waste Plastics[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2011, 16(1): 7-9.
- [23] 卞有生. 生态农业中废弃物的处理与再生利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 214-220.
- Bian Yousheng. The Treatment and Reutilization of Wastes in Ecological Agriculture[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000: 214-220.
- [24] 谭京梅, 梁坤, 孙可伟. 包装废弃物的处理[J]. 中国资源合理利用, 2003(4): 31-34.
- Tan Jingmei, Liang Kun, Sun Kewei. The Disposal of Packaging Waste[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2003(4): 31-34.
- [25] Fang Changqing, Zhou Shisheng, Zhang Maorong, et al. Optimization of the Modification Technologies of Asphalt by Using Waste EVA from Packaging[J]. Journal of Vinyl & Additive Technology, 2009, 15(3): 199-203.
- [26] Ammala A, Bateman S, Dean K, et al. An Overview of Degradable and Biodegradable Polyolefins[J]. Progress in Polymer Science, 2011, 36 (8): 1015-1049.
- [27] Reddy M M, Deighton M, Gupta R K, et al. Biodegradation of Oxo-Biodegradable Polyethylene[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 111(3): 1426-1432.
- [28] Aliaga C, Ferreira B, Hortal M, et al. Influence of RFID Tags on Recyclability of Plastic Packaging[J]. Waste Management, 2011, 31(6): 1133-1138.
- [29] 廖正品. 中国废弃塑料基本现状与回收处置原则初探[J]. 塑料工业, 2005, 33(增刊1): 1-7.
- Liao Zhengpin. The Basic Status and the Recycling Disposal Principles of Plastic Waste in China[J]. China Plastics Industry, 2005, 33(S1): 1-7.

(责任编辑: 李玉珍)