

## 食品用PET瓶回收技术及监管现状

李 强, 刘朴真, 段 敏, 黄 蓉

### Recycling Technology and Supervision Strategies of Food Contact PET Bottle

LI Qiang, LIU Puzhen, DUAN Min, and HUANG Rong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040124>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 全氟和多氟烷基化合物的危害及在食品中的污染研究进展

Research Progress on the Harm of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances and Their Contamination in Food

食品工业科技. 2020, 41(20): 336–341,350

#### 食品接触材料中非有意添加物及其来源研究进展

Research Progress on Non-intentional Added Substances and Their Origins in Food Contact Materials

食品工业科技. 2021, 42(8): 376–387

#### 食品接触用再生PET制品中非有意/有意添加物迁移量的筛查及安全评估

Identification and Safety Assessment of the Migration of Intentionally and Non-intentionally Added Substances in Food Contact Recycled PET Product

食品工业科技. 2021, 42(18): 252–260

#### 纸质食品接触材料中七种多氯联苯的气相色谱法测定

Determination of 7 Polychlorinated Biphenyls in Food Contact Paper Materials by Gas Chromatography

食品工业科技. 2019, 40(3): 239–241,248

#### GC-MS测定4类食品接触材料中多环芳烃类化合物的溶出暴露水平

Determination of the Migration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Four Kinds of Food Contact Materials

食品工业科技. 2018, 39(14): 194–199

#### 中欧食品安全监管体系比较研究

Comparative Study on Food Safety Supervision System between China and EU

食品工业科技. 2019, 40(19): 216–220,225



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李强, 刘朴真, 段敏, 等. 食品用 PET 瓶回收技术及监管现状 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(19): 487–493. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040124

LI Qiang, LIU Puzhen, DUAN Min, et al. Recycling Technology and Supervision Strategies of Food Contact PET Bottle[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(19): 487–493. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040124

· 专题综述 ·

# 食品用 PET 瓶回收技术及监管现状

李 强\*, 刘朴真, 段 敏, 黄 蓉

(中国标准化研究院农业食品标准化研究所, 北京 100191)

**摘要:** 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 因其优良的材料性能, 被广泛应用于矿泉水、软饮料、啤酒等食品包装领域, 但由此带来的巨量废旧 PET 瓶对环境保护产生了巨大的压力。而随着 PET 瓶回收再生技术的发展, 废旧 PET 瓶再生食品接触材料成为趋势, 并已在多个国家成功应用。本文介绍了 PET 瓶化学和物理回收技术及主要的应用企业, 同时概述了国际上包括美国、加拿大、欧盟、英国、日本、韩国等国家回收 PET 用于食品接触材料的监管措施, 对比我国相关法律法规, 为我国回收 PET 再生并作为可接触食品材料提供参考意见, 包括推进垃圾分类管理、完善风险评估体系、制定相关食品安全国家标准等。

**关键词:** PET, 回收技术, 食品接触材料, 法律法规

中图分类号: TS206

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)19-0487-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040124



本文网刊:

## Recycling Technology and Supervision Strategies of Food Contact PET Bottle

LI Qiang\*, LIU Puzhen, DUAN Min, HUANG Rong

(Institute of Agricultural Food Standardization, China National Institute of Standardization, Beijing 100191, China)

**Abstract:** According to its excellent properties, polyethylene terephthalate (PET) is widely used as food containers in mineral water, soft drinks, beers, etc., resulting in a huge waste of PET bottles which increases the environmental burden. With the development of the recycling technology of PET bottles, the discarded PET bottles after consumption have been reused as food containers in many countries successfully. This paper is mainly focused on the new developments of chemical and physical PET recycling technology and its application in enterprises and outlines regulations in the United States, Canada, the European Union, Britain, Japan, South Korea and other countries. The relevant laws and regulations of PET recycling as food containers in our country have also been reviewed. The purpose of this paper is to provide reference opinions on recycling PET to produce food contact materials in China, including promoting waste classification management, improving the risk assessment systems, and formulating relevant national food safety standards.

**Key words:** PET; recycling technology; food contact material; laws and regulations

PET 在世界塑料中具有重要的地位, 其因高强度、轻质量、无异味等特点, 在食品包装领域特别是 PET 饮料瓶中应用广泛。PET 在增加消费者需求的同时也产生了大量的废料, 因其难以自然降解的特性对生态环境带来了不小的压力。据统计, 由于全球塑料制品的大量消费及不完善的垃圾回收处理体系, 每年约有  $5.7 \times 10^4 \sim 26.5 \times 10^4$  t 的塑料垃圾流向了海洋, 最终污染整个生态环境<sup>[1]</sup>。

面对废弃物管理带来的环境压力, 消费后的

PET 回收技术应运而生。各国纷纷制定了 PET 回收计划, 并且在美国、欧盟、日本、加拿大等 20 多个国家或地区已明确规定回收塑料可用作食品接触材料。欧盟计划到 2025 年 PET 瓶装水中回收再生塑料的平均使用率高于 25%, 并且 PET 回收率不低于 90%<sup>[2]</sup>; 日本计划到 2030 年达到 PET 瓶 100% 回收<sup>[3]</sup>; 我国虽未明确 PET 瓶完全回收时间, 但计划在 2025 年实现禁止、限制部分塑料制品的生产、销售和使用, 以应对塑料污染和实现可持续发展目标<sup>[4]</sup>。伴随

收稿日期: 2022-04-13

基金项目: 国家市场监督管理总局食品相关产品业务支撑工作 (HT-SPXG-2021001)。

作者简介/通信作者\*: 李强 (1980-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品监测与控制、食品标准化, E-mail: liqiang@cnis.ac.cn。

着 PET 瓶回收再生工艺的开发和突破,越来越多的国际知名食品企业为了履行自己的企业社会责任,也制定了各自的再生 PET 瓶使用时间表。法国达能集团宣布旗下依云牌瓶装水用瓶将在 2025 年完全使用回收再生 PET 瓶<sup>[5]</sup>;可口可乐计划自 2025 年所有包装瓶使用回收再生 PET 瓶比例达到 50%<sup>[6]</sup>;百事公司在 2025 年也将至少使用 25% 的再生 PET 瓶,并在欧盟内比例达到 50%<sup>[7]</sup>;日本三得利饮料公司计划在 2030 年之前将再生 PET 瓶使用比例提高至 60%~70%<sup>[8]</sup>。本文概述了 PET 的主要回收技术方法,及美国、欧盟、日本等国家或地区对再生 PET 的管理情况,并借鉴国外监管情况为我国食品接触用再生 PET 瓶回收利用提供参考意见。

## 1 PET 瓶回收技术现状

PET 瓶回收技术的研究始于 20 世纪 70 年代<sup>[9]</sup>。随着时代的发展及工艺的完善, PET 瓶再生利用技术已经比较成熟。为了使回收 PET 成功应用于食品包装,消费后的 PET 瓶片需要去除周转过程中带入的污染物,如乙醛、粘合剂、洗涤剂、汽油等。同时,回收再生后的 PET 还要满足特性粘度(>0.7 dl/g)、黄色指数(<20)、染料含量(<10 ppm)等要求<sup>[10]</sup>。目前主要的回收技术分为物理法和化学法。

### 1.1 化学法

PET 的合成首先通过对苯二甲酸(PTA)与乙二醇(EG)的缩合反应或通过对苯二甲酸二甲酯(DMT)

与 EG 的酯交换反应,产物为对苯二甲酸双羟乙酯(BHET),后通过二元酯之间相互缩聚形成<sup>[11]</sup>。PET 瓶的化学法回收本质是 PET 的解聚反应,即在某些条件下将 PET 完全降解为单体,如 PTA、DMT、BHET、EG 或部分成寡聚物<sup>[12]</sup>。化学回收方法及应用的优缺点如表 1 所示。

用于 PET 解聚的常见化学物质包括水(水解)、甲醇(醇解)、EG(糖解)等<sup>[19~22]</sup>。虽然从反应机理上来说,化学回收 PET 可从多种途径实现 PET 解聚,但是从工业化可实现的角度考虑,目前世界上采用化学回收工业化装置的企业大多仍以醇解路线为主<sup>[19]</sup>,如赫斯特、杜邦、陶氏化学和伊士曼等都采用了甲醇分解过程<sup>[23]</sup>。利用化学法回收再生的 PET 瓶片质量水平与原生 PET 相当,并且很好地实现了资源的再循环,但其投入成本较高,经济效益较低。

### 1.2 物理法

物理法回收是指将废旧 PET 制品先通过破碎、分选、洗涤、干燥等工艺变成深度清洁的 PET 碎片,之后经塑化造粒、增粘成为 PET 切片,热塑成型后变成再生 PET 瓶,工艺流程如图 1 所示<sup>[24]</sup>。PET 吹塑加工所需的特性黏度(IV)值应不低于 0.74 dl/g<sup>[20]</sup>,而消费后的 PET 瓶在回收过程中质量降低,在熔融挤出过程中特性粘度降低,往往需要通过固相缩聚或液相增粘来增大 PET 分子量,从而满足吹瓶要求。物理回收方法及应用优劣势如表 2 所示。

表 1 PET 化学回收的优缺点对比

Table 1 Comparison of the advantages and disadvantages of PET chemical recycling

优势	劣势
可将 PET 废料分解成单体和/或其寡聚体和其他化学物质 <sup>[13]</sup>	对 PET 进行化学解聚的生产成本要高于直接生产 PET,因此在没有经济激励的情况下,化学法再生 PET 需要更高的生产成本 <sup>[14]</sup>
与其他回收利用方法相比,完全遵守了“可持续性”原则 <sup>[15]</sup>	需要大规模生产以使其具有成本效益的可行性 <sup>[16]</sup>
保存了回收 PET 废料的分子量(特性粘度) <sup>[13]</sup>	
可以将被污染的和非常复杂的废物流回收成所需规格的产品 <sup>[16]</sup>	
在 PET 化学回收过程中,最终产品的可加工性,如印刷性和染色性可以达到预期的级别 <sup>[17]</sup>	
PET 产品在化学回收过程中不会出现暗黄现象 <sup>[18]</sup>	

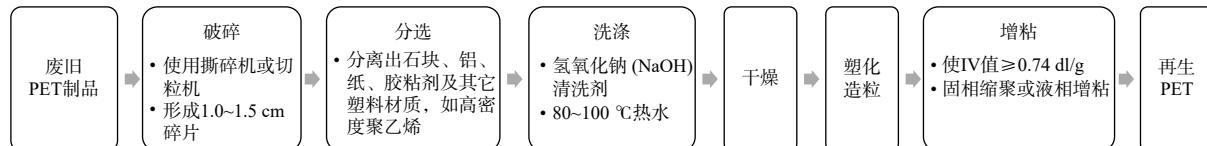


图 1 PET 物理回收工艺流程

Fig.1 The process flow of PET physical recycling

表 2 PET 物理回收的优劣对比

Table 2 Comparison of the advantages and disadvantages of PET physical recycling

优势	劣势
加工技术简单;投资成本低 <sup>[25]</sup>	被污染物质的复杂性阻碍了 PET 的物理回收 <sup>[26]</sup>
对环境的负面影响很小 <sup>[26]</sup>	PET 废料在每次回收时的杂质和产品性能的恶化是 PET 物理回收的主要问题 <sup>[15]</sup>
	由于 PET 物理回收过程中产生的环状和线性低聚物,最终产品的印刷性和染色性可能被降低 <sup>[17]</sup>
	物理回收的 PET 由于分子内交联和氧化反应而变黄 <sup>[18]</sup>

最早将再生 PET 应用到食品接触容器上是通过与原生 PET 材料以“再生-原生”双层瓶或“原生-再生-原生”夹层瓶的方式实现, 但这样做无形中提高了企业的生产成本, 最终没有得到广泛应用。随着回收再生技术的不断发展, 美国 JCL 公司推出了单层瓶技术, 即 PET 瓶身只使用再生 PET 材料, 使得废旧 PET 瓶真正应用于食品级接触材料的潜力开始展现<sup>[22]</sup>。目前, 物理法的生产技术主要由 PET 瓶料螺杆脱气挤出和增粘两部分构成, 制得超级洁净的再生 PET 瓶片, 洁净度主要取决于加工过程中的温度、压力、气流和停留时间等工艺参数<sup>[23]</sup>。国外使用物理法回收 PET 的有 Buhler、Starlinger、OHL、EREAMA、URRC 等公司, 主要技术路线对比如表 3 所示。

## 2 国内外对食品接触用回收 PET 的管理

目前, 美国、欧盟、韩国、英国、加拿大、日本等国家和国际组织均对回收 PET 用于食品接触材料有明确的法律规定, 部分国家建立了相应的行业指南。表 4 列出了部分国家或地区对再生 PET 的管理情况。

### 2.1 美国

美国食品药品管理局(FDA)负责食品接触再生塑料的监管。食品接触再生塑料的法规要求与原生塑料的要求相同, 即同样需要符合《联邦食品、药品和化妆品法案(Federal Food, Drug and Cosmetic Act)》第 21 章节(21CFR)中的要求。该法案原则上允许回收塑料用于食品包装, 并发布了相应的再生塑

料质量评估指南文件<sup>[24]</sup>。

美国法规并不强制要求企业进行再生塑料工艺的认证。再生塑料相关企业可自愿向 FDA 提交对其再生工艺评估的申请。然而, 为了使自己的产品在市场上更加具有竞争力, 不少企业仍然选择向 FDA 提交再生塑料的认证申请。收到申请材料后, FDA 会对整个回收工艺进行评估。如果 FDA 认为通过该回收工艺生产的再生塑料产品是安全的, 则会向申请企业出具相关产品适用于食品接触材料的无异议函(No Objection Letter, NOL), 主要包括申请公司信息、塑料类型、回收工艺类型(物理回收或化学回收)等, 如果该材料有相应的使用条件限制, 在无异议函中也会进行注明<sup>[25]</sup>, 具体流程见图 2。截止 2021 年 12 月, 针对再生塑料 FDA 共发出 259 份无异议函, 其中约 70% 为回收 PET 且大部分为物理回收。

### 2.2 欧盟

用于食品接触的再生塑料在欧盟需要符合欧盟框架法规 Regulation(EC)1935/2004 的要求, 其使用的单体和添加剂需要符合欧盟塑料法规 Regulation (EU)10/2011 的要求<sup>[26]</sup>。此外, 欧盟还有一部专门针对再生塑料的法规 Regulation(EU)282/2008, 里面详细列出了对再生塑料材料的规定, 包括食品接触再生塑料材料和制品范围的设定、再生工艺授权条件、再生工艺授权程序、监督检查要求以及符合性声明要求等内容。除此之外, 再生塑料和制品的生产应严

表 3 物理法瓶到瓶技术优劣对比

Table 3 Comparison of the advantages and disadvantages of physical bottle-to-bottle techniques

公司	技术路线	优点	缺点
Buhler	挤出净化→造粒→固相缩聚	回水利用率高; 产品粘度可通过固相缩聚工艺调节	对回收 PET 瓶质量要求高, 聚氯乙烯(PVC)瓶的含量不能高于 0.5%
Starlinger	洁净 PET 瓶片→去杂质、造粒、固相增粘 一次性处理	生产过程中较少使用氮气; 生产成本较低	生产能力低
OHL	预干燥→多轴挤出机→水下造粒器→结晶→固相缩聚	采用多轴挤出设计, 残留杂质排出效果好	采用间歇法固相缩聚, 每批次产品质量不稳定
EREAMA	洁净 PET 瓶片→真空反应器→PET 瓶片自摩擦增粘→单螺杆挤出	残留杂质去除能力高、能耗低; 产品洁净度高	生产能力低、投入成本高
URRC	PET 瓶分类和破碎→预清洗→NaOH 反应 →后清洗→剔除有色瓶和金属	碱法清洗可去除表层杂质, 原料要求低	PET 损耗大, 损耗率超过 5%

表 4 部分国家或地区的再生 PET 管理情况

Table 4 Management of recycled PET in some countries or regions

国家或地区	主管部门	主管法规	行业指南	允许的回收工艺
美国	美国食品药品管理局(FDA)	《联邦食品、药品和化妆品法案》	《在食品包装中使用再生塑料的注意事项: 化学方面的考虑》	物理回收和化学回收
欧盟	欧洲食品安全局(EFSA)	(EC)No 282/2008 食品接触用再生塑料法规	《关于食品接触用再生塑料安全评估提交资料指南》	物理回收
韩国	食品药品安全部(MFDS)	《食品用器具、容器和包装的标准与规范》、《食品容器中使用的再生原料标准》	/	物理回收
英国	食品标准局(Food Standards Agency)	《食品安全法》	参照《关于食品接触用再生塑料安全评估提交资料指南》	物理回收
加拿大	健康产品和食品局(HPFB)	《食品和药品法》	《食品包装应用中确定回收塑料的可接受性和使用指南》	物理回收和化学回收
日本	环境部、厚生劳动省	《容器和包装回收法》	/	物理回收和化学回收



图 2 美国再生 PET 生产工艺评估流程

Fig.2 Evaluation process for recycled PET production in the United States

格遵守委员会(EC)NO 2023/2006 法规《关于拟与食品接触的材料和制品的良好生产规范》。

不同于美国,回收塑料的工艺认证在欧盟是一项强制性的要求。根据(EU)282/2008 法规的规定,如果预期要将回收塑料使用在食品包装材料中,需要首先向欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)提交申请。EFSA 将对回收工艺进行评估,尤其是针对可能的污染来源以及整个回收工艺对于污染物的去除率进行评估,具体流程见图 3。只有获得欧盟官方许可的回收工艺才能被用于生产食品接触再生塑料。但是在满足(EU)10/2011 相关要求的前提下,只有物理法回收工艺需要授权,而 a.由化学降解而得来的单体或起始物制成的再生塑料; b.使用在生产区域回收的边角料、碎片生产的再生塑料; c.被用于功能阻隔层之后的再生塑料除外<sup>[31]</sup>。

在食品接触再生塑料的供应链中,上游也必须为下游出具符合性声明(DoC),其中需要包含该生产工艺已获得欧盟官方授权的卷宗编号,以及法规 Regulation(EU)282/2008 中提到的其他必须包含的内容。截至 2022 年 3 月,EFSA 已对约 150 个食品接触用回收 PET 生产工艺开展了安全评估。

欧盟再生塑料法规(EU)No 282/2008 出台已达 14 年之久,从实施的情况来看,存在着法规适用性、许可与生产等诸多问题,欧盟准备起草新的再生塑料法规,以取代(EU)No 282/2008。新法规将更专注于去污处理程序,该法规规定所有的塑料回收工艺都应包括一个净化环节,并且对去污过程中的技术细节及产品质量有更高的要求。同时,在回收塑料周转处理的全过程中,回收料必须具有批号、回收装置注册号、不同来源含量比等信息的可追溯标签信息。

### 2.3 韩国

韩国食品接触材料和物品均受到《食品卫生法》

的监管。食品接触再生塑料首先应满足该法案第 3 章的前提条件,即禁止在食品接触器具、容器和包装中存在或使用可能危害人类健康的有毒/有害化学品。食品药品安全部(Ministry of Food and Drug Safety, MFDS)负责为这些产品制定标准和规范。由 MFDS 颁布的《食品用器具、容器和包装的标准与规范》(第 2021-76 号公告)中明确指出在制造及加工器具、容器及包装时,可将回收塑料用于与食物接触,并负责对生产过程进行审查和认可<sup>[32]</sup>。其中,通过物理(机械)回收的 PET 需符合规范中附件 4《器具、容器和包装物用回收合成树脂标准》的有关要求。同时,回收企业必须具备单独收集和分类塑料瓶的设施设备,韩国环境部负责对再生过程中所使用塑料碎片等原料进行初步验证。具体评估流程见图 4。

### 2.4 英国

在英国,受管制的食品接触材料在使用和投放市场之前需要获得英国食品标准局(Food Standards Agency)批准,对于回收塑料的批准保留使用了欧盟委员会(EC)NO 2023/2006 中的相关要求。当某类产品或工艺已获授权,便会在相关法例的正面清单中列出,然而针对回收塑料工艺的正面清单尚未在立法中确立。在正面清单确立之前,塑料回收工艺如果符合英国《食品安全法》以及任何食品接触材料法规的相关要求,包括不对人类健康有害、不损害食物的成分(如改变食物的酸度)、不对食物的味道、香气、颜色或质地产生不利影响等,便可以在英国上市或继续运营<sup>[33]</sup>。

由于 EFSA 此前已经制定了详细的指南,因此英国目前的评估及授权方法是基于欧盟的流程。如果回收塑料工艺在 2021 年 1 月 1 日之前获得了欧盟委员会的批准,该授权将在英国继续有效,而无需申请新的授权。同时,英国也在制定用于本国的回收塑料工艺正面清单,以为申请企业提供进一步指导。

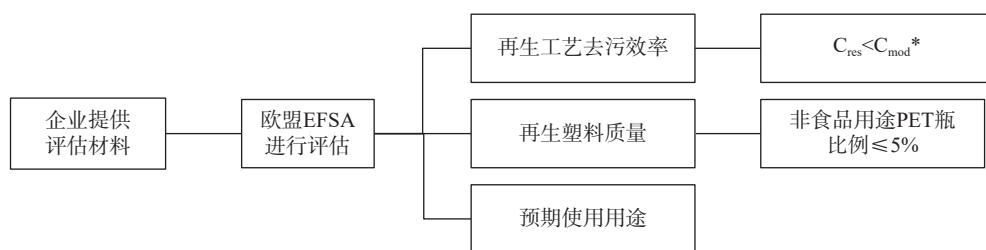


图 3 欧盟再生 PET 生产工艺评估流程

Fig.3 Evaluation process for recycled PET production in EU

注: \*C<sub>res</sub> 代表再生 PET 污染物残留水平; C<sub>mod</sub> 代表再生 PET 可接受的污染物残留水平。

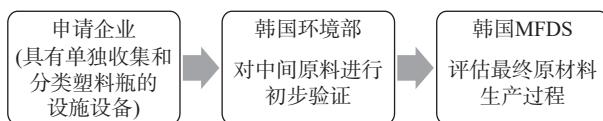


图 4 韩国再生 PET 生产工艺评估流程

Fig.4 Evaluation process for recycled PET production in South Korea

## 2.5 加拿大

在加拿大, 回收塑料用于食品包装必须符合《食品和药品法》第 23 条的规定, 同时发布了《食品包装应用中确定回收塑料的可接受性和使用指南》, 其中指出用于食品包装的回收塑料材料的制造商必须以与原始材料相同的方式测试回收塑料的物理性能, 以确保回收材料的规格与原始塑料相似, 并满足其功能用途的技术要求<sup>[34]</sup>。

对于企业而言, 如果打算申请新回收塑料材料, 必须经过加拿大卫生部下属的健康产品和食品局 (Health Product and Food Branch, HPFB) 的审查, 当满足条件后企业将会收到一封“不反对信”(Letter of No Objection, LONO), 具体流程见图 5。但是, LONO 并不意味着 HPFB 同意企业推出该产品。此外, LONO 不存在有效期限, 只要产品成分和用途与最初申请时完全相符即可。

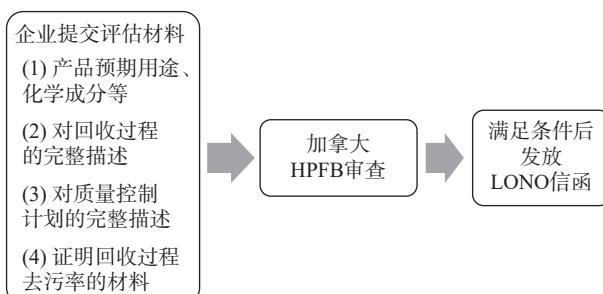


图 5 加拿大再生 PET 生产工艺评估流程

Fig.5 Evaluation process for recycled PET production in Canada

## 2.6 日本

日本对废物循环利用有着一套完整、配套的法律体系, 既有《促进建立循环社会基本法》、《固体废弃物处理和公共清洁法》等基本法和综合性法律, 又有针对不同特征的具体回收产品的法规条例, 如“容器和包装”、“家用电器”、“食物”等, 使日本成为循环经济立法最全面的国家<sup>[35]</sup>。其中, 《容器和包装回收法》规定了消费者、地方公共团体、企业对 PET 瓶分类和回收要求, 该法由环境部、经济产业省、财政部、厚生劳动省和农林水产省五个部门共同管理。其中, 用于盛装酱油、饮料、酒类和部分调味品的 PET 瓶与其它用途的 PET 塑料容器如盛装食用油、非食品用途的应分开回收, 对于不同的回收要求 PET 瓶上应具有指定识别标志<sup>[36]</sup>。如图 6 所示, 消费者可根据 PET 瓶的识别标志对指定的 PET 瓶进行分拣和排出, 地方公共团体负责分类收集, 最后由

生产者负责再商品化, 即再生 PET 薄片或颗粒, 以生产纺织品、板材产品等回收产品, 或经过更高级处理后制成再生 PET 瓶。

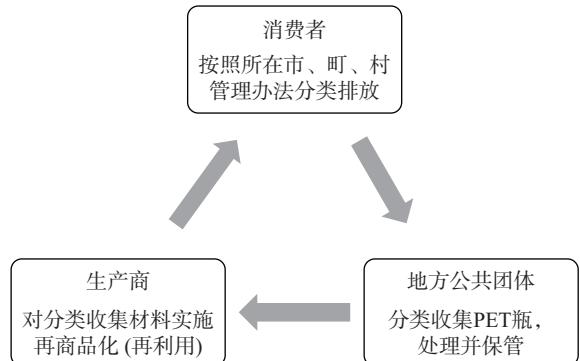


图 6 日本三方责任分担和循环利用流程

Fig.6 Japan's tripartite responsibility sharing and recycling process

## 2.7 中国

我国最早于 1990 年由原卫生部颁布的《食品用塑料制品级原材料卫生管理办法》中明确规定凡加工塑料食具、容器、食品包装材料的不得使用回收塑料。2006 年原质检总局在颁布的《食品用塑料包装、容器、工具等制品生产许可审查细则》中同样规定, 原材料不得使用回收料及受污染的原料。然而, 上述规定均已被废止或替代。2018 年 12 月由国家市场监督管理总局颁布的《食品用塑料包装容器工具等制品食品相关产品生产许可实施细则》新规定里没有关于使用回收塑料的内容<sup>[37]</sup>。同时, 卫生行政部门因为回收塑料不在食品相关产品新品种定义范围内, 也不会对其开展安全性评估工作。因此, 对于回收塑料用于食品接触材料的使用问题暂无明确的相关法规和标准。

目前, 中国再生 PET 的应用以纤维用途为主, 约占 70%<sup>[19]</sup>。这类再生应用技术含量较低, 成品中往往混有杂质, 再生后的产物无法再次循环利用。由于法律法规的限制, 国内对再生 PET 瓶类容器的应用也多为非食品用途, 如“农药瓶”的生产制造, 因为使用再生 PET 瓶片成本更加低廉且不涉及食品安全问题。同样是出于对法律法规限制的考虑, 国内大型食品饮料包装企业也均未有使用再生 PET 材料作为其主要包装材料的安排。

## 3 我国食品接触用再生 PET 瓶回收利用监管的启示

### 3.1 大力推进垃圾分类管理

食品安全与可能受污染的风险因素是制约回收塑料在食品接触制品上使用的主要原因。使用后的食品接触用塑料容器可能会被消费者继续用来装汽油、洗发水、化妆品等非食品用途, 这样容易导致一些化学污染残留或迁移, 造成潜在的食品安全问题<sup>[38]</sup>。除此之外, 由于我国垃圾分类回收体系的不完善, 消费者的分类意识薄弱, 在回收食品接触用 PET 瓶的

同时往往会有大量其它材质的塑料容器,如 PVC、PE 瓶等非食品消费品,导致回收再生价值降低。虽然我国正在大力发展循环经济,但缺少完善的循环经济法律体系与配套措施,垃圾回收体系有待进一步完善,企业与公众的权力义务也没有规范化。为更好地提高废弃 PET 瓶的回收利用价值,我国应大力部署推进垃圾分类管理制度,并完善相关法律法规的制修订,借鉴日本垃圾分类相关规定,不断细化分类原则,研究发展配套的垃圾回收系统,同时鼓励民众广泛参与,细化消费者、企业、政府对于垃圾分类回收的责任,建立全社会共同参与机制。

### 3.2 建立完善风险评估体系

对于消费后的 PET 瓶再生用于食品接触材料,我国缺少对其进行安全风险评估的体系。PET 的再生回收涉及垃圾分类等多个环节,回收加工过程中不可避免的会遇到各种有意或非有意添加的潜在污染物。因此,在充分调研我国食品接触用 PET 的回收基础上,研究我国 PET 瓶非食品用途情况,确定主要污染物及最大迁移水平,借鉴欧美对再生 PET 材料挑战性测试,制定可接受的去污效率及迁移水平,在大量实验数据的基础上建立我国再生 PET 的风险评估体系。

### 3.3 制定再生 PET 材料食品安全国家标准

国外在确立回收塑料用于食品接触材料的情况下,往往通过发布行业指南的方式对塑料回收及再生企业提供指导建议,并且由于多种再生 PET 工艺的应用,以一事一议的方式对不同塑料回收工艺进行审查。对于我国再生 PET 用于食品接触材料,应首先出台相关的法律法规明确回收塑料可应用于食品包装、容器等制品,进而在回收体系及风险评估体系完善的情况下,借鉴国外经验,在小范围内开展再生 PET 的审查,并不断完善审查方式,优化审查类型。同时,在满足 GB 4806.1-2006《食品接触材料及制品通用安全要求》、GB 4806.7-2016《食品接触用塑料材料及制品》等食品接触材料国家安全标准要求的前提下,制定再生 PET 材料的食品安全国家标准。

## 4 总结

回收 PET 瓶实现“瓶到瓶”的应用,是发展循环经济的重要途径之一。消费后的 PET 瓶再生技术已获得世界上大多数发达国家的认可,并在众多食品包装饮料企业中得到应用,是有效减少塑料垃圾的重要措施之一。我国作为 PET 瓶消费大国,可借鉴成熟的国外经验,探索研究再生 PET 在我国用于食品接触材料的可能性,在保障食品安全的前提下循序渐进地推动再生 PET 的法律地位,制定再生 PET 相关食品安全国家标准,完善垃圾分类管理制度,形成政府、企业、消费者的三方责任制度,构建社会共治格局,实现资源的再生利用,促进可持续发展。

## 参考文献

- [1] 安立会,李欢,王菲菲,等.海洋塑料垃圾污染国际治理与对策[J].环境科学研究,2022,35(6):1334-1340. [AN Lihui, LI Huan, WANG Feifei, et al. International governance of marine plastic litter pollution and policy recommendations[J]. Research of Environmental Sciences, 2022, 35(6): 1334-1340. ]
- [2] ALEX C. Interview: PET waste 'a shared responsibility'—EF-BW president[EB/OL]. (2018-5-16)[2022-02-03].<https://www.food-bev.com/news/interview-pet-waste-a-shared-responsibility-efbw-president/>.
- [3] 中塑在线.日本计划在 2030 年实现 PET 瓶 100% 回收[EB/OL](2018-12-17)[2022-02-03].<https://info.21cp.com/info/detail/162886633048276992.html>. [ China Plastics Online. Japan plans to achieve 100% recycling of PET bottles by 2030[EB/OL]. (2018-12-17)[2022-02-03].<https://info.21cp.com/info/detail/162886633048276992.html>. ]
- [4] 中华人民共和国国家发展改革委员会.国家发展改革委生态环境部关于进一步加强塑料污染治理的意见(发改环资〔2020〕80 号)[EB/OL].(2020-1-16)[2022-02-03].[http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/20/content\\_5470895.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/20/content_5470895.htm). [ National Development and Reform Commission. Opinions on further strengthening the control of plastic pollution (No. 80[2020]) [EB/OL]. (2020-1-16)[2022-02-03].[http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/20/content\\_5470895.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/20/content_5470895.htm). ]
- [5] DANONE. Evian® transforms its approach to plastic to become a 100% circular brand by 2025[EB/OL]. (2018-12-11) [2021-02-03].<https://www.danone.com/stories/artistes-list/evian-transforms-approach-to-plastic.html>.
- [6] CPRJ 中国塑料橡胶.可口可乐投资高品质可回收 PET 包装瓶[J].橡塑技术与装备,2019,45(2): 57. [ CPRJ China Plastic & Rubber. Coca-Cola invests in high quality recyclable PET bottles[J]. China Rubber/Plastic Technology and Equipment, 2019, 45(2): 57. ]
- [7] 郑宁来.百事公司打造 PET 塑料循环经济[J].聚酯工业,2019,32(1): 24. [ ZHENG Ninglai. PepsiCo is building a circular economy for PET plastics[J]. Polyester Industry, 2019, 32(1): 24. ]
- [8] 日本三得利控股 (HD) 拟建立 PET 瓶全部再生体制 [J]. 中国包装,2020,40(4): 11. [ Suntory Holdings (HD) of Japan plans to establish a system for the recycling of all PET bottles[J]. China Packaging, 2020, 40(4): 11. ]
- [9] MILLER C. Polyethylene terephthalate[J]. Waste Age, 2002, 33(5): 102-106.
- [10] O'REILLY M, STUBBE J. PET polymer recycling[J]. *Biochemistry*, 2020, 59(25): 2316-2318.
- [11] WELLE F. Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview[J]. Resources, Conservation & Recycling, 2011, 55(11): 865-875.
- [12] AWAJA F, PAVEL D. Recycling of PET[J]. European Polymer Journal, 2005, 41(7): 1453-1477.
- [13] LÓPEZ-FONSECA R, DUQUE-INGUNZA I, RIVAS B D, et al. Chemical recycling of post-consumer PET wastes by glycolysis in the presence of metal salts[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2010, 95(6): 1022-1028.
- [14] KAMBER N E, TSUJII Y, KEETS K, et al. The depolymerization of poly (Ethylene terephthalate) (PET) using N-heterocyclic carbenes from ionic liquids[J]. *Journal of Chemical Education*, 2010, 87(5): 519-521.

- [ 15 ] BARTOLOME L, IMRAN M, CHO B G, et al. Recent developments in the chemical recycling of PET [J]. In Tech, 2012; 65–84.
- [ 16 ] JEFFERSON H, ROBERT D, EDWARD K. Plastics recycling: Challenges and opportunities [J]. *Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences*, 2009, 364(1526): 2115–2126.
- [ 17 ] DAWSON T. Progress towards a greener textile industry [J]. *Coloration Technology*, 2012, 128(1): 1–8.
- [ 18 ] BADIA J D, STRÖMBERG E, KARLSSON S, et al. The role of crystalline, mobile amorphous and rigid amorphous fractions in the performance of recycled poly (ethylene terephthalate) (PET) [J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2011, 97(1): 98–107.
- [ 19 ] 周菁. 中国 R-PET 瓶到瓶技术发展现状及展望 [J]. *合成技术及应用*, 2020, 35(2): 19–23. [ ZHOU Jing. Development status and prospect of R-PET bottle-to-bottle technology in China [J]. *Synthetic Technology and Application*, 2020, 35(2): 19–23. ]
- [ 20 ] 张朔, 李佳燕, 刘雄, 等. PET “瓶到瓶”技术发展现状 [J]. *安徽化工*, 2017, 43(1): 15–18. [ ZHANG Shuo, LI Jiayan, LIU Xiong, et al. PET "bottle to bottle" technology development status [J]. *Anhui Chemical Industry*, 2017, 43(1): 15–18. ]
- [ 21 ] 陈会明, 周丽丽, 于文莲, 等. 再生 PET 食品包装材料的研究进展 [J]. *中国塑料*, 2012, 26(2): 7–12. [ CHEN Huiming, ZHOU Lili, YU Wenlian, et al. Research progress in recycled PET used for food packaging materials [J]. *China Plastics*, 2012, 26(2): 7–12. ]
- [ 22 ] 周迎鑫, 翁云宣, 张彩丽, 等. 聚对苯二甲酸乙二醇酯回收技术及标准现状 [J]. *中国塑料*, 2021, 35(8): 162–171. [ ZHOU Yingxin, WENG Yunxuan, ZHANG Caili, et al. Review of recovery technology and standard status of poly (ethylene terephthalate) [J]. *China Plastics*, 2021, 35(8): 162–171. ]
- [ 23 ] RAHEEM A B, NOOR Z Z, HASSAN A, et al. Current developments in chemical recycling of post-consumer polyethylene terephthalate wastes for new materials production: A review [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 225: 1052–1064.
- [ 24 ] 谭亦武. 瓶到瓶(BTB)技术和市场研究(一) [J]. *合成纤维*, 2009, 38(10): 10–14. [ TAN Yiwu. Bottle-to-bottle (BTB) technology and market research (I) [J]. *Synthetic Fiber in China*, 2009, 38(10): 10–14. ]
- [ 25 ] 孙荐, 肖培源. 发达国家塑料包装回收对我国的启示 [J]. *中国资源综合利用*, 2021, 39(5): 64–66. [ SUN Jian, XIAO Pei-yuan. Enlightenment of plastic packaging recycling in developed countries to China [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2021, 39(5): 64–66. ]
- [ 26 ] AL-SALEM S M, LETTIERI P, BAEYENS J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review [J]. *Waste Management*, 2009, 29(10): 2625–2643.
- [ 27 ] CLAUDE L, MANUEL B B J, CLAUDIA B, et al. Safety assessment of the process plastrec, based on polymetrix pellet technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials [J]. *EFSA Journal*, 2021, 19(4): 6560.
- [ 28 ] 张玉霞, 张岩, 李东萱, 等. 国内外塑料包装材料回收法律体系概况 [J]. *塑料工业*, 2011, 39(1): 1–4. [ ZHANG Yuxia, ZHANG Yan, LI Dongxuan, et al. The overview of legal system about recycling plastic packaging material at home and abroad [J]. *China Plastics Industry*, 2011, 39(1): 1–4. ]
- [ 29 ] 钱伯章. 欧美废旧塑料回收利用近况 [J]. *国外塑料*, 2010, 28(3): 58–61. [ QIAN Bozhang. Europe and the united states waste plastics recycling news [J]. *World Plastics*, 2010, 28(3): 58–61. ]
- [ 30 ] 王朝晖, 孙树国, 刘金昱, 等. 欧盟 No 10/2011 《关于预期与食品接触的塑料材料和制品的委员会法规》解读 [J]. *中国塑料*, 2011, 25(7): 83–88. [ WANG Zhaohui, SUN Shuguo, LIU Jinyu, et al. Understanding of commission regulation (EU) No 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food [J]. *China Plastics*, 2011, 25(7): 83–88. ]
- [ 31 ] 王朝晖, 王超. 欧盟委员会 (EC)No 282/2008 法规解析 [J]. *中国标准化*, 2010(2): 17–19. [ WANG Zhaohui, WANG Chao. Introduction to (EC) regulation No 282/2008 [J]. *China Standardization*, 2010(2): 17–19. ]
- [ 32 ] Ministry of Food and Drug Safety. Standards and specifications for utensils, containers and packages (No. 2021-76) [EB/OL]. (2021-12-31)[2022-03-15].[https://www.mfds.go.kr/eng/brd/m\\_15/view.do?seq=72435](https://www.mfds.go.kr/eng/brd/m_15/view.do?seq=72435).
- [ 33 ] Food Standards Agency. Food contact materials authorisation guidance [EB/OL]. (2021-02-04)[2022-03-25].<https://www.food.gov.uk/business-guidance/regulated-products/food-contact-materials-guidance>.
- [ 34 ] Health Canada. Guidelines for determining the acceptability and use of recycled plastics in food packaging applications [EB/OL]. (2011-09-20)[2022-03-25].<https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/legislation-guidelines/guidance-documents/guidelines-determining-acceptability-use-recycled-plastics-food-packaging-applications-1996.html>.
- [ 35 ] 姜宛宜, 朴春兰. 日本循环经济发展模式经验探讨 [J]. *现代商业*, 2021(27): 52–54. [ JIANG Wanyi, PIAO Chunlan. Experience discussion on the development model of circular economy in Japan [J]. *Modern Business*, 2021(27): 52–54. ]
- [ 36 ] Ministry of the Environment. Container and packaging recycling method [EB/OL]. (2020-04)[2022-03-15].[https://www.env.go.jp/recycle/yoki/a\\_1\\_recycle/index.html](https://www.env.go.jp/recycle/yoki/a_1_recycle/index.html).
- [ 37 ] 杨婷, 曾庆鹏. 新版食品用塑料包装容器工具生产许可实施细则及通则解读 [J]. *塑料包装*, 2018, 28(6): 21–25. [ YANG Ting, ZENG Qingpeng. Reading about detailed rules and general rules for the implementation of the new production license for plastic packaging containers and tools for food [J]. *Plastics Packaging*, 2018, 28(6): 21–25. ]
- [ 38 ] 于杨曜, 林路索. 我国食品接触塑料包装制品再生利用的法律规制: 以 PET 饮料瓶为例 [J]. *食品科学*, 2019, 40(19): 370–377. [ YU Yangyao, LIN Lusuo. Legal regulation of recycling of food contact plastic packaging materials in China: A case study on polyethylene terephthalate (PET) beverage bottles [J]. *Food Science*, 2019, 40(19): 370–377. ]