

再生塑料管控政策及其智能鉴定研究综述

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2024.02.010

李虹 陈寿 王鑫

曾平 张智寰 涂建国

深圳市八六三新材料

技术有限责任公司

广东 深圳 518117

摘要: 对全球多个国家,特别是欧美国家和中日韩等亚太国家,塑料生产、回收和再利用的相关政策和法规进行了梳理;对再生塑料成分和含量的鉴定技术进行了归纳总结。研究结果表明:发达国家和发展中大国对塑料管控相对较好,既有近期规划又有远景目标;再生塑料的鉴定技术和方法正在快速发展和完善。在不远的将来,会实现塑料的高效回收和循环利用,也会开发出简便、快速、精准的再生塑料鉴定方法。

关键词: 再生塑料; 塑料废弃物; 包装法律法规; 循环利用

中图分类号: TB484.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2024)02-0078-09

引文格式: 李虹,陈寿,王鑫,等.再生塑料管控政策及其智能鉴定研究综述[J].包装学报,2024,16(2):78-86.

1 研究背景

塑料制品在日常生活中被广泛使用,这是世界环境污染的主要因素之一。T. C. Hoang^[1]指出,到2050年全球塑料累计总产量约340亿t。截至2015年全球产生约63亿t塑料废物,其中只有约9%的被循环利用,12%的被焚烧,79%的则被填埋^[2]。特别是新型冠状病毒肺炎流行期间生产的数十亿个口罩和其他一次性塑料医用物品,给全球增添了大量的塑料废弃物。塑料废弃物被广泛堆积在海洋、垃圾填埋场和陆地的其他地方,严重破坏了海洋和陆地上动植物的生存环境和自然生态系统,严重威胁到了人类的健康。此外,塑料的大量生产导致温室气体大量排放,也造成了严重的环境污染。

为了保护环境,多国开始践行循环经济的发展理念,对塑料实施分级管理,优先采用“3R”原则,即减少使用(reduction)、重复使用(reuse)和回收利用(recycle),来实现消费后塑料的再利用,

减少垃圾填埋^[3]。E. W. Gabisa等^[4]通过量化计算发现,使用再生塑料替代原材料,碳排放将减少至-67 MtCO₂e;回收约2000万t塑料可以在全球范围内节省约5000万t原油资源。潘生林等^[5]运用生命周期分析,对跨境再生高密度聚乙烯(high density polyethylene, HDPE)的资源利用过程进行了碳足迹评价研究。结果表明,随着再生塑料比例的增加,可降低塑料罐包装的全生命周期碳足迹,再生料质量分数增加5%,碳足迹下降7.67%。

因此,为了达成“双碳”目标、促进循环经济和可持续发展,各国对塑料的回收都引起了高度重视,全球超120个国家出台了相关的政策法规。本文收集并分类分析了国内外再生塑料的管理政策,系统分析了聚乙烯(polyethylene, PE)、聚丙烯(polypropylene, PP)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene glycol terephthalate, PET)、聚碳酸酯(polycarbonate, PC)、苯乙烯-丁二烯-丙烯腈高聚物(acrylonitrile butadiene styrene, ABS)等再生塑料智能鉴定技术发

收稿日期:2024-02-05

作者简介:李虹(1984-),女,江西景德镇人,深圳市八六三新材料技术有限责任公司工程师,硕士,主要研究方向为包装新材料, E-mail: 149408331@qq.com

展情况, 以期为我国实现再生塑料同级循环、规范再生塑料进出口贸易制度、减低固体废弃物跨界转移风险, 促进再生行业健康、有序、规范和高质量发展, 最终实现循环经济和绿色经济提供参考。

2 国内外关于再生塑料的政策

2.1 欧美国家

迄今为止欧盟已构建了较完善的政策法规体系, 由 1 项战略 5 项法规组成。早在 2018 年《循环经济中的欧洲塑料战略》中就制定了塑料回收目标, 即在 2025, 2030, 2035 年实现塑料废弃物回收率分别达到 50%, 55%, 60%^[6]。《一次性塑料指令》明确提出, 到 2025 年, PET 饮料瓶中需添加再生材料的质量分数不少于 25%; 至 2030 年, PET 饮料瓶中再生塑料的质量分数不低于 30%^[7]。2022 年 3 月 30 日欧盟发布的《欧盟可持续和循环纺织品战略》^[8], 禁止塑料瓶通过物理回收方法制成纺织纤维, 旨在保证塑料瓶的闭环回收, 促进塑料同级循环, 这样使塑料同级循环应用比例迅速提升。2022 年 11 月 30 日欧盟发布了新的《包装和包装废弃物法规》提案^[9], 修订了第 2019/1020 号法规和第 2019/904 号指令, 并废止旧的 94/62/EC 包装指令, 这一举措旨在减少包装废弃物, 增加再利用和重复灌装, 提高回收塑料的使用率。

英国于 2022 年 4 月 1 日起实施《2022 年塑料包装税 (通用) 条例》^[10], 该条例由英国税务与海关总署共同发布, 其中一项重要内容为: 英国将对每年制造或进口到英国数量超过 10 t、再生塑料使用比例不足 30% 的塑料包装, 征收每吨 200 英镑的塑料包装税。英国的一项年度报告“A Roadmap to 2025”也设定了 2025 年回收目标: 52% 的塑料包装材料回收再用; 塑料包装材料中再生料的添加量平均最少为 30%, 其中, PET 瓶、牛奶瓶为 50%, PE 瓶为 40%~45%, PET 托盘为 35%~40%, PP、聚对苯二甲酸丙二醇酯 (polytrimethylene terephthalates, PTTs) 为 50%, PP、PE 膜为 10%^[11]。

2023 年 1 月 1 日, 西班牙塑料税已如期生效执行, 对不可重复使用的塑料包装征收新税, 旨在防止不可回收的塑料包装产生新的塑料污染, 并鼓励回收塑料废弃物^[12]。

德国包装法 (VerpackG) 则规定了从 2025 年起, 一次性塑料饮料瓶将有法律规定的再生塑料最低含量: 从 2025 年起, PET 一次性饮料瓶必须包含至少

25% 的再生塑料; 从 2030 年起, 所有一次性塑料饮料瓶的再生塑料含量至少达到 30%^[13-14]。

美国发布《联邦食品、药品和化妆品法案》^[15], 提出原则上允许再生材料应用在食品接触性材料中。2020 年 2 月, 美国众议员和参议员首次提出了《2020 年摆脱塑料污染法》HR5854 法案, 其中明确提出, 到 2025 年塑料饮料瓶中可再生塑料占比为 25%, 到 2040 年该比例要达到 80%。

加拿大塑料公约组织表示, 到 2025 年实现塑料包装 100% 可重复使用、可回收或者可堆肥, 所有塑料包装中含再生材料的比例平均至少为 30%^[16]。

2.2 日韩等亚太国家

日本于 2019 年 5 月 31 日颁布了《塑料资源循环战略》, 并于同年 6 月 G20 峰会上将海洋塑料垃圾和微塑料治理列为重要议题, 其宗旨在于对塑料进行减量化使用, 提高回收再生率和使用生物质塑料; 也明确了回收再生的目标: 到 2025 年, 通过设计提高塑料容器包装等制品的回收再生率; 到 2030 年, 实现 60% 的塑料容器包装回收或再生; 到 2035 年, 对难以回收或再生的塑料包装实现 100% 回收^[17]。

韩国主要通过塑料制品的减量化和回收率的提高, 来实现 2025 年塑料废弃物减少 20%, 回收利用率从 54% 提高至 70% 的目标^[18]。

东盟国家泰国则一直在持续推进《管理塑料垃圾路线图 2018—2030》, 并设定了到 2027 年实现 100% 回收的目标^[19]。

印度于 2021 年 9 月启动了《印度塑料公约》(India Plastic Pact), 成为了第一个签署《塑料公约》的亚洲国家。制定了到 2030 年所有塑料包装中再生材料含量平均为 25% 的目标; 还修订了《塑料垃圾管理规则》, 允许在食品接触材料中使用再生塑料。依据此修正案, 再生塑料可用于储存、携带、分发或包装即食或食用的食品, 只要它遵循 2006 年《食品安全和标准法》的规定^[20]。

澳大利亚 2021 年出台的《2021 年国家塑料计划》中, 关于塑料包装的目标是: 到 2025 年, 所有包装平均需含 50% 再生料, 其中塑料包装含 20% 再生料^[21]。

2.3 中国

国家发展和改革委员会于 2021 年 7 月 1 日在《“十四五”循环经济发展规划》中提出, 大力发展循环经济, 要加强塑料垃圾分类回收和再生利用, 减少塑料垃圾填埋量。同年 9 月, 国家发展和改革委员会

会、生态环境部出台《“十四五”塑料污染治理行动方案》，要求加大塑料废弃物再生利用和提升塑料垃圾无害化处理水平^[22-23]。同时，鉴于我国再生领域尚无产品标准，行业内无标准可依的情况，国家市场监督管理总局、国家标准化委员会，制定了GB/T 40006《塑料 再生塑料》系列国家标准，按塑料材料特点将再生塑料分为了11类，迄今已发布了PE、PP、ABS、聚苯乙烯（polystyrene，PS）、PC、聚酰胺（polyamide，PA）、PET等材料的技术要求和管控指标^[24-31]。

综上所述，在双碳、可持续发展、循环经济等目标和政策的推动下，各行各业对再生塑料的需求量将持续增长。然而，在利益因素的驱动下，市场上可能充斥着质量参差不齐的再生塑料，这不仅扰乱再生塑料行业的秩序，甚至可能让劣质再生塑料流入市场，给消费者带来极大的安全风险。如何鉴别再生塑料是再生行业里面面临的一个重要课题。

3 再生塑料鉴定技术

3.1 再生塑料的鉴定基础

依据GB/T 40006.1标准，对再生塑料定义如下：利用废弃的塑料加工而成的用作原用途或其他用途的塑料，但不包括能量回收。因此，塑料在回收和再加工过程中会有副反应产物、降解产物、污染物等非有意添加物产生，而且这些大部分为有机化合物，如挥发性有机化合物（volatile organic compounds，VOCs）^[32-33]，同时还有危害人类健康的物质。

K. Pivnenko等^[34]发现，在收集的家用废塑料和再生塑料中，含有邻苯二甲酸酯类有机物，其中邻苯二甲酸二丁酯（dibutyl phthalate，DBP）、邻苯二甲酸二异丁酯（diisobutyl phthalate，DIBP）和邻苯二甲酸二异辛酯（di-2-ethyl hexyl phthalate，DEHP）含量分别高达360, 460, 2700 μg/g。许超等^[35]对再生PET、再生PE、再生PC进行蒸发残渣及金属迁移测试，发现再生料的蒸发残渣明显高于新料。再生PET在使用时存在镍迁移风险，再生PE中存在钙质填料迁移现象，再生PC中双酚A含量达到了80 μg/g，存在严重的食品安全风险。此外，再生材料还会有异味，其来源与其先前的使用环节有关。M. Strangl等^[36]使用气相色谱-嗅闻-质谱联用仪（gas chromatography-olfactometry-mass spectrometer，GC-O-MS），比较了再生和原生HDPE的气味物质，发

现仅在消费后塑料中检测到几种具有柑橘味、肥皂味、果味或花味的萜烯和带有丁香味、大茴香味和肥皂味/木棉味的苯丙素，推测出这些异味物质是从包装内的化妆品和洗涤/清洁剂中使用的香料渗入到塑料中。R. Paiva等^[37]对原生聚丙烯进行人为污染和回收处理后，采用GC-O-MS和感官评价的方法，验证了具有塑料味的二苯甲酮是使PP产生异味的主要原因，而该物质可能是作为光引发剂被添加到塑料中。

基于以上再生材料存在的不足，必须对其进行定性和定量的鉴定，才能安全规范地再利用。目前常用于分析聚合物的技术可归类如下^[38-39]：

1) 色谱质谱分析：气相色谱法、反相气相色谱法、裂解气相色谱-质谱法。

2) 分子量分析：凝胶渗透色谱法、熔融指数法、溶剂黏度法。

3) 分子结构分析：傅里叶红外光谱法、核磁共振波谱法、紫外可见光光谱法、拉曼光谱法。

4) 结晶微观分析：扫描电镜法、原子力显微镜法、X射线衍射法、透射电镜法。

5) 材料热分析：差示扫描量热法、热重分析法、动态机械分析法。

6) 材料物理性能分析：拉伸、弯曲、压缩、硬度、密度分析法。

结合再生材料的特点和以上分析技术，按材料类型分类汇总了聚烯烃、聚酯等再生材料的鉴定技术发展情况。

3.2 再生塑料鉴定技术的运用

3.2.1 聚酯材料的鉴定

聚酯常见的有聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）和聚对苯二甲酸丁二酯（polybutylene terephthalate，PBT）。其中PET具有柔韧性好、质量轻、透明度高、耐高温、CO₂阻隔性能良好、吸附性能和扩散率低等特点，被广泛应用在包装材料上。

C. Rung等^[40]认为，PET是目前唯一符合欧洲食品安全局要求的聚合物，且可以实现100%回收。国内外对PET再生材料的安全性能、PET再生料的鉴别，以及量化再生塑料含量的技术逐渐成熟。

R. Peñalver等^[41]采用一种创新的基于静态顶空-气质联用技术的非靶向方法，获取原生PET和不同含量再生PET样品的挥发性有机物成分，建立了包含161种有机化合物特征的MS数据库。在回收的PET样品中，常见的化合物有17种，主要有醛类（戊

醛、己醛、庚醛、辛醛、壬醛和癸醛)和苯衍生物(苯乙烯、对二甲苯、苯甲醛、甲苯和1,2-二氯苯)。根据挥发性物质指纹图谱可以区分原生PET和回收PET,并应用基于偏最小二乘回归的统计方法来量化PET样品中再生塑料的含量。这是预测PET中再生材料含量的有效方法。

叶智康等^[42]运用顶空-固相微萃取(headspace-solid phase microextraction, HS-SPME)结合全二维气相色谱-串联四极杆飞行时间高分辨质谱(two-dimensional gas chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry, GC×GC-Q-TOF MS),测定回收聚对苯二甲酸乙二醇酯中挥发性有机物。在9个回收PET样品中检测出209种挥发性有机物,高频物质十四烷的最高含量为2.13 mg/kg。检测结果为再生PET的再利用和安全性评估提供了基础数据。另一项研究^[43]则采用HS-SPME/GC×GC-Q-TOF MS的方法对VOCs进行非靶向分析,通过正交偏最小二乘判别分析模型和T检验,筛选了回收和原生PET之间的差异性物质(98种标记物质和31种高标准标记物质)。基于高标准标记物质的主成分分析模型,很好地解释了回收PET和原生PET之间的差异,且训练集和验证集的准确率分别达到100%和97.1%。这表明该方法可有效准确鉴别出回收PET,且样品形态对结果无明显影响。

3.2.2 聚烯烃类材料的鉴定

聚烯烃,包括聚丙烯(PP)、高密度聚乙烯(HDPE)、低密度聚乙烯(LDPE)及其共混物等,是主要的城市塑料废弃物。PP和PE因密度接近、结构相似,采用常规的物理机械回收方法很难将两者完全分离,回收后塑料常以共混的形式存在。聚烯烃经历预处理、熔融造粒、改性等手段加工后,常常发生降解。

王成云等^[44]用裂解气相色谱-质谱联用法结合保留指数,对495个原生和再生聚烯烃样品中的物质进行检测和定性分析,发现含有薄荷醇、壬醛、癸醛、壬酸、对叔戊基环己醇、十一烷醛、8-甲基壬酸、十二烷醛、2,4-二叔丁基苯酚等特征物质的聚烯烃材料为再生料。

H. Jones等^[45]对原生/再生PP、原生/再生HDPE及其共混物进行了系统性分析,选择差示扫描量热仪(differential scanning calorimeter, DSC)、动态热机械分析仪(dynamic thermo-mechanical

analyzer, DMA)、拉力机对材料的热力学和机械力学性能做了研究。研究数据显示,PP/HDPE互不相容,对于再生的PP或HDPE来说,DSC谱图上明显有2个峰,这可能是回收过程中两者没完全分离所致;同时也发现,再生共混塑料的结晶度和熔融温度较原生共混料明显偏低。通过这些数据,可以识别是否是再生塑料。

徐焕翔等^[46]在聚丙烯体系中添加不同比例的回收料,然后采用DSC等方法,利用摩尔质量变化、氧化诱导期、熔融结晶性能、熔体质量流动速率等参数,可定性鉴别PP中是否添加了回收料。

王成云等^[47]利用新料和再生料的DSC曲线中熔融焓和结晶焓的差异,建立了快速鉴别新料和再生料的定性方法,同时还可以在无需知道对应新料的具体信息情况下,定量测定再生料含量。

孙梦捷等^[48]则采用热重分析仪,在不同高温的有氧条件下对再生PP材料进行原位加速老化测试,计算样品在5%失重下所需老化时间,再通过Arrhenius方程建立温度和老化时间的关系,进而评估再生PP不同添加量时,PP材料的实际使用寿命,并快速鉴别PP再生料树脂。其另一项研究^[49]则采用差示扫描量热仪,对不同添加量的低密度聚乙烯(LDPE)再生料进行熔融温度及连续自成核和退火热分级分析,发现添加了再生料的样品熔融曲线上均出现了T4和T5两个分级峰,据此有助于鉴别LDPE再生料。

除了上面的鉴别方法,对于聚烯烃材料,光谱法也有较好的鉴别能力。例如:红外光谱衰减全反射法可用于鉴别PE、PP再生料^[50-53];联合近红外方法^[54]可准确、快速辨别PE再生塑料;用便携式拉曼光谱仪^[55]可识别再生HDPE/PP;以二阶导数次高峰对再生料含量进行拟合,可实现对再生塑料含量的检测。

3.2.3 聚碳酸酯、苯乙烯-丁二烯-丙烯腈高聚物的鉴定

聚碳酸酯(PC)具有良好的透明性、尺寸稳定性和抗冲击性等,是一种性能优异的热塑性工程塑料,被广泛用于食品包装、汽车、电子、医疗器械等领域。用ABS对PC改性(PC/ABS共混物),可提高弯曲模量、耐热等性能,从而提高了PC的成型加工性能。

黄师等^[56]采用傅里叶变换红外光谱测定PC的原生料与回收料,以 3301 cm^{-1} 处的羟基特征吸收峰

作为标定分析峰,建立PC原料标样浓度与羟基特征吸收峰强度的线性回归曲线的定量分析方法。在此体系中,在 $\pm 80\%$ 相对误差区间内可区分新料与回收料,可实现PC回收料的快速鉴别。王君等^[57]采用红外光谱、扫描电子显微镜、紫外可见光谱法,对原生和添加回收料的PC进行测试,可初步区分原生料和回收料。研究表明,双酚A(BPA)等酚类物质,随着回收料添加比例的提高和回收次数的增多而增加。

王成云^[58]采用裂解-气相色谱-质谱联用法对塑料样品中挥发性组分进行分析,通过NIST谱库检索结合保留指数进行定性鉴定,建立了能准确快速鉴别PC和PC/ABS塑料中是否含有再生料的定性分析方法。用此方法对海关提供的225个样品进行验证,均能准确地将含有再生料的PC、PC/ABS塑料与新料区分开。

赵迎等^[59]则运用拉曼光谱分析法与化学计量学结合,以ABS和PC/ABS微粒为研究对象,采集大量样品的Raman光谱,再采用主成分分析技术对Raman光谱进行降维处理,然后基于偏最小二乘判别分析,建立并优化废旧塑胶原料鉴别模型。模型验证集鉴别正确率达99.06%,可有效地实现对再生料现场、快速、准确的筛查。

4 结语

对国内外塑料生产、回收利用的相关法律、法规和政策作了归纳总结,以期能为政府有关部门的决策提供参考,以引导和监督塑料行业良性发展;同时也引导民众重视消费后塑料的再生,避免再生料的降级回收,真正实现塑料循环利用。

系统地总结了再生材料的鉴定方法,对PET、PE、PP、PC、ABS等再生塑料的鉴定技术做了分类汇总。通过仪器分析并结合化学计量学的有关方法,可实现再生塑料准确、高效的鉴别;选择优化的数学模型还可实现再生材料含量的估算。这些方法如转化为便于推广应用的标准,将有助于再生材料的生产企业、产品制造商和政府的相关监管部门做好再生料管控,规范再生塑料市场,规避再生塑料引入的安全风险,真正实现循环经济、绿色经济。

塑料的循环再利用是促进塑料行业向循环经济转变的重要举措,然而我国的回收体系尚未完善,回收技术也未成熟,还需要法律、法规和行业的

监管。随着政策法规的完善、相关标准的制定、鉴定技术的提高、再生塑料产业链的完善、民众环保意识的提高,我国再生塑料的同级无限循环,在不远的将来可以实现。

参考文献:

- [1] HOANG T C. Plastic Pollution: Where are We Regarding Research and Risk Assessment in Support of Management and Regulation?[J]. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2022, 18(4): 851-852.
- [2] GEYER R, JAMBECK J R, LAW K L. Production, Use, and Fate of all Plastics ever Made[J]. *Science Advances*, 2017, 3(7): e1700782.
- [3] LAMTAI A, ELKOUN S, ROBERT M, et al. Mechanical Recycling of Thermoplastics: A Review of Key Issues[J]. *Waste*, 2023, 1(4): 860-883.
- [4] GABISA E W, RATANATAMSKUL C, GHEEWALA S H. Recycling of Plastics as a Strategy to Reduce Life Cycle GHG Emission, Microplastics and Resource Depletion[J]. *Sustainability*, 2023, 15(15): 11529.
- [5] 潘生林, 封亚辉, 查燕青, 等. 跨境再生HDPE生产塑料罐包装的碳足迹评价研究[J]. *包装工程*, 2021, 42(23): 1-7.
PAN Shenglin, FENG Yahui, ZHA Yanqing, et al. Carbon Footprint Assessment of Plastic can Packaging Produced by Cross-Border Recycled HDPE[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(23): 1-7.
- [6] European Commission. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy[EB/OL]. [2023-12-13]. <https://www.europarc.org/wp-content/uploads/2018/01/Eu-plastics-strategy-brochure.pdf>.
- [7] The European Parliament and The Council of The European Union. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the Reduction of the Impact of Certain Plastic Products on the Environment (Text with EEA Relevance) Article 6[EB/OL]. [2023-12-13]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0904&qid=1700797359989>.
- [8] European Commission. EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles[EB/OL]. [2024-01-14]. https://environment.ec.europa.eu/publications/textiles-strategy_en.
- [9] European Commission. Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council, on Packaging and Packaging Waste, Amending Regulation(EU)2019/1020

- and Directive (EU)2019/904, and Repealing Directive 94/62/EC[EB/OL]. [2023-12-24]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022PC0677>.
- [10] HM Revenue & Customs. Introduction of Plastic Packaging Tax from April 2022, This Tax Information and Impact Note is About the New Plastic Packaging Tax[EB/OL]. [2023-12-15]. <https://www.gov.uk/government/publications/introduction-of-plastic-packaging-tax-from-april-2022/introduction-of-plastic-packaging-tax-2021>.
- [11] [Anon]. A Roadmap to 2025: The UK Plastics Pact[EB/OL]. [2023-12-23]. <https://wrap.org.uk/>.
- [12] 邓桂华, 孙祎婷. 部分欧洲国家立法征收塑料包装税 [N/OL]. 中国税务报, 2023-02-27. [2024-01-04]. https://www.sohu.com/a/649571914_121123909.
DENG Guihua, SUN Weiting. European Countries Have Enacted Taxes on Plastic Packaging[EB/OL]. China Taxation News, 2023-02-27. [2024-01-04]. https://www.sohu.com/a/649571914_121123909.
- [13] 中华人民共和国商务部. 德国拟修订《包装法》, 以减少包装垃圾对环境的影响 [EB/OL]. [2023-12-15]. <http://www.mofcom.gov.cn/article/i/jyj1/m/202102/20210203036457.shtml>.
Ministry of Commerce of the People's Republic of China. Germany Plans to Amend the Packaging Law to Reduce The Environmental Impact of Packaging Waste[EB/OL]. [2023-12-15]. <http://www.mofcom.gov.cn/article/i/jyj1/m/202102/20210203036457.shtml>.
- [14] 刘林林, 何江, 金彪, 等. “双碳”背景下消费后塑料的回收现状及其在食品中的应用进展 [J]. 塑料工业, 2023, 51(8): 1-8, 24.
LIU Linlin, HE Jiang, JIN Biao, et al. Recycling Status of Post-Consumer Plastics and Its Application in Food Package Under the Background of “Carbon Peaking and Carbon Neutrality” [J]. China Plastics Industry, 2023, 51(8): 1-8, 24.
- [15] 任照芳, 李丹, 潘静静, 等. 可持续发展背景下我国食品接触用再生塑料的机遇与挑战 [J]. 中国塑料, 2021, 35(8): 30-36.
REN Zhaofang, LI Dan, PAN Jingjing, et al. Opportunities and Challenges of Recycled Plastics Used for Food Contact under Background of Sustainable Development[J]. China Plastics, 2021, 35(8): 30-36.
- [16] Canda Plastics PACT. Roadmap to 2025 a Shared Action Plan to Build a Circular Economy for Plastic Packaging[EB/OL]. [2023-12-24]. <https://roadmap.plasticspact.ca/>.
- [17] 陈祥. 日本制定“塑料资源循环战略”的原因及影响 [J]. 日本问题研究, 2019, 33(6): 29-41.
CHEN Xiang. The Reasons and Influences of Japan's “Resource Circulation Strategy for Plastics” [J]. Japanese Research, 2019, 33(6): 29-41.
- [18] 张敏, 袁赞, 陈建国, 等. 中日韩食品接触用rPET政策法规与管理分析 [J]. 包装工程, 2023, 44(19): 15-22.
ZHANG Min, YUAN Yun, CHEN Jianguo, et al. Analysis of Policies, Regulations and Management of rPET for Food Contact Materials among China, Japan and the Republic of Korea[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(19): 15-22.
- [19] World Bank Group. Plastic Waste Material Flow Analysis for Thailand: Summary Report[EB/OL]. [2023-12-23]. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099515103152238081/p17099409744b50fc09e7208a58cb52ae8a>.
- [20] [佚名]. 食品级rPET浪潮正在涌入亚洲 [EB/OL]. [2024-01-23]. <https://mp.weixin.qq.com/s/mvTYdOTxVfwmHJ0DU7XBjw>.
[Anon]. The Food-Grade rPET Wave is Coming to Asia! [EB/OL]. [2024-01-23]. <https://mp.weixin.qq.com/s/mvTYdOTxVfwmHJ0DU7XBjw>.
- [21] Department of Agriculture, Water and the Environment. National Plastics Plan 2021[EB/OL]. [2024-01-23]. <https://www.dceew.gov.au/environment/protection/waste/publications/national-plastics-plan>.
- [22] 国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于印发“十四五”循环经济发展规划的通知 [J]. 再生资源与循环经济, 2021, 14(7): 1-5.
National Development and Reform Commission. Notice of the National Development and Reform Commission on Printing and Distributing the Development Plan of Circular Economy in the 14th Five-Year Plan[J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2021, 14(7): 1-5.
- [23] 国家发展和改革委员会, 生态环境部. 国家发展改革委生态环境部关于印发“十四五”塑料污染治理行动方案的通知 [J]. 资源再生, 2021(9): 36-38.
National Development and Reform Commission, Ministry of Ecology and Environment. Notice on the Issuance of the “14th Five-Year Plan” Plastic Pollution Control Action Plan[J]. Resource Recycling, 2021(9): 36-38.
- [24] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 塑料再生塑料第1部分: 通则: GB/T 40006.1—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <http://down.foodmate.net/standard/yulan.php?itemid=102545>.

- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Plastics-Recycled Plastic-Part 1: General Rules: GB/T 40006.1—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <http://down.foodmate.net/standard/yulan.php?itemid=102545>.
- [25] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 塑料再生塑料 第2部分: 聚乙烯 (PE) 材料: GB/T 40006.2—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <http://down.foodmate.net/standard/yulan.php?itemid=102546>. State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Plastics-Recycled Plastics-Part 2: Polyethylene (PE) Materials: GB/T 40006.2—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <http://down.foodmate.net/standard/yulan.php?itemid=102546>.
- [26] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 塑料再生塑料 第3部分: 聚丙烯 (PP) 材料: GB/T 40006.3—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <http://down.foodmate.net/standard/yulan.php?itemid=102547>. State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Plastics-Recycled Plastics-Part 3: Polypropylene (PP) Materials: GB/T 40006.3—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <http://down.foodmate.net/standard/yulan.php?itemid=102547>.
- [27] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 塑料再生塑料 第5部分: 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS) 材料: GB/T 40006.5—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <https://www.doc88.com/p-77147197643140.html?r=1>. State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Plastics-Recycled Plastics-Part 5: Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) Materials: GB/T 40006.5—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <https://www.doc88.com/p-77147197643140.html?r=1>.
- [28] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 塑料再生塑料 第6部分: 聚苯乙烯 (PS) 和抗冲击聚苯乙烯 (PS-I) 材料: GB/T 40006.6—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <http://c.gb688.cn/bzgk/gb/showGb?type=online&hcno=B89DF01453E0FBE5DCF34DCB56C1521D>. State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Plastics-Recycled Plastics-Part 6: Polystyrene (PS) and Impact-Resistant Polystyrene (PS-I) Materials: GB/T 40006.6—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <http://c.gb688.cn/bzgk/gb/showGb?type=online&hcno=B89DF01453E0FBE5DCF34DCB56C1521D>.
- [29] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 塑料再生塑料 第7部分: 聚碳酸酯 (PC) 材料: GB/T 40006.7—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <https://www.doc88.com/p-11561734760921.html>. State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Plastics-Recycled Plastics-Part 7: Polycarbonate (PC) Materials: GB/T 40006.7—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <https://www.doc88.com/p-11561734760921.html>.
- [30] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 塑料再生塑料 第8部分: 聚酰胺 (PA) 材料: GB/T 40006.8—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <https://max.book118.com/html/2022/0208/8113132042004056.shtm>. State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Plastics-Recycled Plastics-Part 8: Polyamide (PA) Materials: GB/T 40006.8—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <https://max.book118.com/html/2022/0208/8113132042004056.shtm>.
- [31] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 塑料再生塑料 第9部分: 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 材料: GB/T 40006.9—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <https://max.book118.com/html/2023/0111/7016003112005032.shtm>. State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Plastics-Recycled Plastics-Part 9: Poly (Ethylene Terephthalate) (PET) Materials: GB/T 40006.9—2021[S/OL]. [2023-12-11]. <https://max.book118.com/html/2023/0111/7016003112005032.shtm>.
- [32] CABANES A, VALDÉS F J, FULLANA A. A Review on VOCs from Recycled Plastics[J]. *Sustainable Materials and Technologies*, 2020, 25: e00179.
- [33] ALASSALI A, PICUNO C, CHONG Z K, et al. Towards Higher Quality of Recycled Plastics: Limitations from the Material's Perspective[J]. *Sustainability*, 2021, 13(23): 13266.
- [34] PIVNENKO K, ERIKSEN M K, MARTÍN-FERNÁNDEZ J A, et al. Recycling of Plastic Waste: Presence of Phthalates in Plastics from Households and Industry[J]. *Waste Management*, 2016, 54: 44-52.
- [35] 许超, 王君, 申丽霞, 等. 再生塑料包装的安全性检验与分析[J]. *包装工程*, 2012, 33(19): 85-88. XU Chao, WANG Jun, SHEN Lixia, et al. Safety Inspection and Analysis of Recycled Plastic Packaging Materials[J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(19), 85-88.
- [36] STRANGL M, SCHLUMMER M, MAEURER A, et al. Comparison of the Odorant Composition of Post-Consumer High-Density Polyethylene Waste with Corresponding Recycled and Virgin Pellets by Combined Instrumental and Sensory Analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 181: 599-607.
- [37] PAIVA R, WRONA M, NERÍN C, et al. Importance

- of Profile of Volatile and off-Odors Compounds from Different Recycled Polypropylene Used for Food Applications[J]. Food Chemistry, 2021, 350: 129250.
- [38] YANG R. Analytical Methods for Polymer Characterization[M]. Boca Raton: CRC Press, 2018: 309-318.
- [39] GRIGORESCU R M, GRIGORE M E, IANCU L, et al. Waste Electrical and Electronic Equipment: A Review on the Identification Methods for Polymeric Materials[J]. Recycling, 2019, 4(3): 32.
- [40] RUNG C, WELLE F, GRUNER A, et al. Identification and Evaluation of (Non-)Intentionally Added Substances in Post-Consumer Recyclates and Their Toxicological Classification[J]. Recycling, 2023, 8(1): 24.
- [41] PEÑALVER R, MARÍN C, ARROYO-MANZANARES N, et al. Authentication of Recycled Plastic Content in Water Bottles Using Volatile Fingerprint and Chemometrics[J]. Chemosphere, 2022, 297: 134156.
- [42] 叶智康, 曾莹, 林勤保, 等. 基于 SPME/GC × GC-Q-TOF MS 法测定回收 PET 中的挥发性有机物 [J]. 分析测试学报, 2021, 40(11): 1596-1603.
- YE Zhikang, ZENG Ying, LIN Qinbao, et al. Determination of Volatile Organic Compounds in Recycled Polyethylene Terephthalate by SPME/GC × GC-Q-TOF MS[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2021, 40(11): 1596-1603
- [43] 郝天英, 林勤保, 钟怀宁, 等. HS-SPME/GC × GC-Q-TOF MS 结合化学计量学对回收聚对苯二甲酸乙二醇酯鉴别能力的研究 [J]. 分析测试学报, 2022, 41(10): 1447-1458.
- HAO Tianying, LIN Qinbao, ZHONG Huaining, et al. Study on the Ability of HS-SPME/GC × GC-Q-TOF MS Combined with Chemometrics to Discriminate Recycled Polyethylene Terephthalate[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2022, 41(10): 1447-1458.
- [44] 王成云, 徐添贵, 林君峰, 等. 裂解-气质联用法结合保留指数快速鉴别聚烯烃再生塑料 [J]. 塑料助剂, 2021(5): 31-39.
- WANG Chengyun, XU Tiangui, LIN Junfeng, et al. Rapid Identification of Polyolefin Recycled Plastics by the Pyrolysis-GC/MS Technique Combined with the Retention Index[J]. Plastics Additives, 2021(5): 31-39.
- [45] JONES H, MCCLEMENTS J, RAY D, et al. Thermomechanical Properties of Virgin and Recycled Polypropylene-High-Density Polyethylene Blends[J]. Polymers, 2023, 15(21): 4200.
- [46] 徐焕翔, 叶南飏. 聚丙烯制品中回收料的鉴别及检测技术研究 [J]. 塑料工业, 2014, 42(6): 77-79.
- XU Huanxiang, YE Nanbiao. Identification and Detection Methods for Recycled Material in Polypropylene Products[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(6): 77-79.
- [47] 王成云, 邹慧萍, 林君峰, 等. DSC 法快速鉴别塑料新料和再生料 [J]. 上海塑料, 2021, 49(2): 32-38.
- WANG Chengyun, ZOU Huiping, LIN Junfeng, et al. Rapid Identification of Virgin and Recycled Plastics by DSC[J]. Shanghai Plastics, 2021, 49(2): 32-38.
- [48] 孙梦捷, 李洁君, 杨建平, 等. 基于热老化寿命评估法快速鉴别聚丙烯再生料 [J]. 现代塑料加工应用, 2021, 33(1), 33-35.
- SUN Mengjie, LI Jiejun, YANG Jianping, et al. Rapid Identification of Recycled Polypropylene Based on Thermal Aging Service-Life Evaluation Method[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2021, 33(1): 33-35.
- [49] 孙梦捷, 王永香, 刘峻. 基于 DSC-SSA 鉴别低密度聚乙烯再生料 [J]. 合成材料老化与应用, 2021, 50(6): 34-35, 136.
- SUN Mengjie, WANG Yongxiang, LIU Jun. Identification of Low-Density Polyethylene Recycled Materials Based on DSC-SSA[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2021, 50(6): 34-35, 136.
- [50] 孙璐, 孙占英, 赵雄燕, 等. 基于加工历史的食品级塑料再生料鉴别方法可行性研究 [J]. 工程塑料应用, 2014, 42(2): 78-83.
- SUN Lu, SUN Zhanying, ZHAO Xiongyan, et al. Feasibility Study on Discrimination of Food-Grade Reclaimed Plastics Based on Processing History[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(2): 78-83.
- [51] 张磊, 殷刚, 邢家新. 红外光谱法快速鉴别食品用塑料包装袋材料 [J]. 包装与食品机械, 2016, 34(6): 65-67.
- ZHANG Lei, YIN Gang, XING Jiabin. Identification of Plastic Food-Packaging Bags Material with Infrared Spectroscopy[J]. Packaging and Food Machinery, 2016, 34(6): 65-67.
- [52] 毛志毅, 滕藤, 徐一飞, 等. 红外光谱法鉴别塑料管材中的再生塑料 [J]. 理化检验 (化学分册), 2017, 53(12): 1370-1374.
- MAO Zhiyi, TENG Teng, XU Yifei, et al. Differentiation of Regenerated Plastics in Plastic Pipe Materials by Infrared Spectroscopy[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2017, 53(12): 1370-1374.
- [53] 黄爱萍, 赵金尧, 万富, 等. 红外光谱衰减全反射法结合热分析法分析 PP 再生料 [J]. 绿色包装,

- 2020(5): 48–50.
- HUANG Aiping, ZHAO Jinyao, WAN Fu, et al. ATR-FTIR Combined with Thermal Methods to Analyze PP Recycled Materials[J]. *Green Packaging*, 2020(5): 48–50.
- [54] 侯玉磊, 谢兰桂, 赵霞, 等. 近红外和红外光谱法联合识别聚乙烯再生塑料[J]. *中国医药工业杂志*, 2015, 46(6): 614–619.
- HOU Yulei, XIE Langui, ZHAO Xia, et al. Identification of Recycled Polyethylene Materials by near Infrared Spectroscopy Combined with Infrared Spectroscopy[J]. *Chinese Journal of Pharmaceuticals*, 2015, 46(6): 614–619.
- [55] 孔维恒, 王琳丽, 郝欣, 等. 便携式拉曼光谱仪快速识别塑料新料与再生料[J]. *分析仪器*, 2019(5): 109–111.
- KONG Weiheng, WANG Linli, HAO Xin, et al. Rapid Determination of Virgin and Recycled Plastic by ExR 510 Portable Raman Spectrometer[J]. *Analytical Instrumentation*, 2019(5): 109–111.
- [56] 黄帅, 王彦萍, 刁大成, 等. 定量红外光谱法鉴定聚碳酸酯回收料的可行性分析[J]. *合成树脂及塑料*, 2023, 40(1): 30–33.
- HUANG Shuai, WANG Yanping, DIAO Dacheng, et al. Identification of PC Reclaimed Materials via Quantitative Infrared Spectroscopy[J]. *China Synthetic Resin and Plastics*, 2023, 40(1): 30–33.
- [57] 王君, 张继斌, 武吉伟, 等. 聚碳酸酯饮用水桶中回收料的鉴别及其质量安全[J]. *化学世界*, 2016, 57(6): 346–350.
- WANG Jun, ZHANG Jibin, WU Jiwei, et al. Identification of Polycarbonate Drinking Bucket with Added Recycled Materials and Its Quality Safety[J]. *Chemical World*, 2016, 57(6): 346–350.
- [58] 王成云, 林君峰, 徐添贵, 等. 裂解/气质联用法结合保留指数快速鉴别PC和PC/ABS再生料[J]. *福建分析测试*, 2022, 31(1): 1–7.
- WANG Chengyun, LIN Junfeng, XU Tianguai, et al. Rapid Identification of Recycled PC and PC/ABS by Pyrolysis-GC/MS Method Combined with the Retention Index[J]. *Fujian Analysis & Testing*, 2022, 31(1): 1–7.
- [59] 赵迎, 林君峰, 刘佳, 等. 基于拉曼光谱技术鉴别ABS废旧塑胶原料的方法研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2021, 41(1): 122–126.
- ZHAO Ying, LIN Junfeng, LIU Jia, et al. Study on the Method of Identifying Waste Plastic Materials Based on Raman Spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2021, 41(1): 122–126.
- (责任编辑: 邓光辉)

Review of Control Policies and Intelligent Identification of Recycled Plastics

LI Hong, CHEN Shou, WANG Xin, ZENG Ping, ZHANG Zhihuan, TU Jianguo

(Shenzhen 863 New Material and Technology Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518117, China)

Abstract: The policies and regulations related to plastic production, recycling and reuse were reviewed and analyzed in many countries around the world, especially in European and American countries and Asia Pacific countries such as China, Japan and South Korea, while the identification technology of recycled plastics composition and content was summarized. The results show that developed countries and large developing countries have relatively good control over the plastics, with both short-term planning and long-term goals. The identification techniques and methods of recycled plastics are rapidly developing and improving. In the near future, efficient recovery and recycling of plastics are expected to be realized, with easy, fast and accurate identification methods for recycled plastics developed.

Keywords: recycled plastic; waste plastics; packaging regulations and policies; recycling