

城市管理

科技信息简报

2024 年第 7 期

广州市城市管理技术研究中心

2024 年 7 月 26 日

本期要目

- ◆ 以科技支撑助推超大城市垃圾分类治理提质增效
- ◆ 厨余垃圾处理技术应用分析及综合评估
- ◆ 优化设计促进 PET 饮料瓶回收利用
- ◆ 海漂垃圾治理的厦门实践及启示
- ◆ 张家港生活垃圾分类智能收集设施亮相央视
- ◆ 广州推动垃圾分类志愿服务高质量发展
- ◆ 福州融合体全数智绿色分拣中心投运

目 录

垃圾分类

- 以科技支撑助推超大城市垃圾分类治理提质增效.....1
- 张家港生活垃圾分类智能收集设施亮相央视..... 11
- 广州推动垃圾分类志愿服务高质量发展.....13

垃圾处理

- 厨余垃圾处理技术应用分析及综合评估.....17
- 海漂垃圾治理的厦门实践及启示.....25

无废城市建设

- 广州推进“无废城市”建设有亮点.....32
- 福州融合体全数智绿色分拣中心投运.....35
- 白云区建成 278 个“无废细胞”40

研究动态

- 优化设计促进 PET 饮料瓶回收利用.....44

以科技支撑助推超大城市垃圾分类治理提质增效

超大城市垃圾分类从“有没有”走向“好不好”，从“量变”走向“质变”，对科技支撑下精细化、系统化、定量化、智慧化的科学管理的需求更为迫切，同时科技支撑撬动垃圾分类“提质增效”的边际效应也更加显著。

一、超大城市垃圾分类治理科技支撑的重要意义

垃圾分类对于推动生态文明建设、提升社会文明程度、创新基层社会治理都有着重要意义。“推行垃圾分类，关键是要加强科学管理，形成长效机制，推动习惯养成”，已成为我国系统深入推行垃圾分类的根本遵循，其中“科学管理”是基础，“长效机制”是路径，“习惯养成”是目标。面向国家和地方垃圾分类不同发展阶段主要矛盾和重大需求的科技支撑既是“科学管理”的要求，也是“科学管理”的标志。

北京、上海、广州、深圳等超大城市经济发达、人口密集、土地稀缺，垃圾分类开展的设施、管理、社会、经济、文化等基础较好，较早实现垃圾分类从起步阶段到发展阶段的过渡，率先迈上“提质增效”的台阶。超大城市垃圾分类从“有没有”走向“好不好”，从“量变”走向“质变”，对科技支撑下精细化、系统化、定量化、智慧化的科学管理

的需求更为迫切，同时科技支撑撬动垃圾分类“提质增效”的边际效应也更加显著。

二、超大城市垃圾分类科技支撑取得的主要成果

深圳市作为中国特色社会主义先行示范区、可持续发展议程创新示范区，以及国家生活垃圾分类重点城市和首批“无废城市”建设试点，有责任探索构建先进、适用的生活垃圾分类管理体系，为其他城市提供先行示范。

在国家科技部、深圳市科创委和城管局的大力支持下，清华大学深圳国际研究生院从2018年起牵头承担了“十三五”国家重点研发计划“固废资源化”重点专项“基于分类的深圳市生活垃圾集约化处置全链条技术集成与综合示范”项目。项目紧密结合深圳市在我国中国特色社会主义建设及可持续发展中的特殊功能定位，面向深圳市生活垃圾分类处理系统升级重构的重大需求，以“精准分类、全程减量、梯级利用、高效处理、智慧监管”为主线，突破全链条减量分类、园区化循环利用、污染物超低排放、全过程智慧管控等关键技术与核心装备，推动深圳市建成以选择性精准分类为基础，以校园/社区发动志愿服务为特色，以厨余垃圾适度分类为系统优化节点，以可回收物规范管理为迭代升级方向，以清洁焚烧发电为核心依托，以多层次全过程智慧监管平台为保障的生活垃圾分类处理系统，形成适应城市精细化管理、环境高品质保护、经济高质量发展要求的生活垃圾分类深圳模式，为我国超大、特大城市普遍推行垃圾分类制度

提供可借鉴、可推广的综合性解决方案，对我国生活垃圾分类工作稳步推进产生了积极的辐射带动作用。

（一）创建生活垃圾选择性精准分类模式，深度参与顶层设计与宣传教育。在深圳市 10 个区开展了覆盖各类场所的垃圾产生规律的深度调研，解析了生活垃圾时空分布规律和物质流向，量化了不同分类模式的经济与环境效益，提出了适于深圳市的选择性精准分类方案。在此基础上完成了深圳市垃圾分类先行示范区工作方案，提出了垃圾分类的具体管理策略，厘清了生活垃圾分类工作中的疑点、难点。深圳市还开展了生活垃圾源头分类质量提升与保障工程示范工作，打造了一批基于人工智能、物联网、大数据的先进垃圾分类示范点，建设了国内首套完整的低值可回收物牛奶盒回收体系，覆盖全市 1613 所学校，累计回收 1100 多万个；提出了“志愿先行、校园发动”的引导公众参与垃圾分类的策略，与深圳市城管局、教育局和公益组织合作，参与打造了具有“名片”效应的深圳市垃圾分类公众教育“蒲公英计划”，受到了住建部的肯定并向全国推广。

（二）突破有机固废资源化利用关键技术，推动园区减污降碳与协同增效。针对垃圾分类工作中厨余垃圾处理这一难点问题，开发了“有机垃圾分质分相高效协同厌氧消化技术”，应用于深圳市最大的厨余垃圾资源化处理项目，大幅提升了设施稳定性和有机质利用率，年处理规模达到 800 吨，减排二氧化碳超过 12 万吨，为我国厨余垃圾的高效资源化

利用提供了新路径。针对深圳市以环境园为支撑的生活垃圾处理设施体系，以“协同处理、扩能增效、物能循环”为基本思路，对深圳市最大的有机垃圾处理园区——郁南环境园进行了园区循环化改造。首先通过厨余垃圾与污泥协同厌氧消化，将消化周期从 30 天缩短到 20 天左右，减少了设施的占地面积；其次建立沼气产热发电的内循环系统和沼渣、粪渣的协同堆肥处理系统，打通了园区水—能—废的循环链路，提高了郁南环境园的综合效益和运营的稳定性，环境负担降低 70% 以上。项目形成的园区循环化改造方案可以为全国类似环境园区的改造提供样板。

（三）揭示大型垃圾焚烧系统全流程二噁英产排及分配规律，通过工艺集成优化实现二噁英稳定超低排放。焚烧发电厂已成为我国城市生活垃圾分类处理必不可少的核心设施。焚烧发电设施二噁英排放与飞灰处置是社会各界高度关注的问题，也是垃圾处理“邻避效应”的主要症结所在。针对上述制约焚烧发电健康稳定发展的核心问题，突破了焚烧二噁英高温取样难题，开展了现代化大型垃圾焚烧系统二噁英产生及沿程分布规律研究，阐明了燃烧控制及烟气净化系统各环节对二噁英的去除效果，在集成优化基础上开发了“生活垃圾焚烧效能提升及污染物控制关键技术”，烟气二噁英最终排放水平为 $0.0064\text{ngI-TEQ/Nm}^3$ ，总去除率高达 98.95%，二噁英排放水平远低于 0.05ngI-TEQ/m^3 的深圳超低排放标准要求，达到了国际先进水平。针对垃圾焚烧飞灰，

开发了高温熔融无害化、强效整合稳定化和同步重金属固定和二噁英分解的纳米 $n\text{-Al}/\text{CaO}$ 处理技术。在技术突破的基础上，通过实施清洁焚烧，促进资源共享，开展公众服务，构建了“城市生活垃圾清洁焚烧与睦邻共生的整体解决方案”，克服了邻避效应问题，保障了生活垃圾分类处理体系的健康运行，案例入选国家发改委全国推广借鉴深圳特区创新举措及经验做法。

（四）支撑生活垃圾分类处理全过程多层级智慧监管平台建设，推动垃圾分类监管体系与能力现代化。系统梳理超大城市生活垃圾分类处理系统精细化管理业务需求，集成物联网、大数据、人工智能等新一代信息化技术，支撑业务主管单位建立了生活垃圾全链条智慧化分类管理体系，打通了市一区一街道多层级管理部门以及商务、教育、生态环境、义工联等多职能部门的垃圾分类管理数据链条，实现了垃圾分类数据统一和标准化管理。针对投放主体发动困难、严重依赖人力督导、基础数据缺失等问题，建立了覆盖全市 20000 多个集中投放点的数据标准化收集系统，实现了垃圾投放源头基础数据的标准化智慧化采集，同时构建投放点动态成效评估模型，对居民行为、场所情况、监督效果等 5 大项 59 细项内容进行综合评估，实现了投放点分类情况跟踪评价以及督导方式智慧选择。针对垃圾细分品类多、收运渠道复杂等问题，开发生活垃圾分类收运智慧感知系统，实现了全市 3000 多辆各品类垃圾收运车辆的智慧调度和智能监管。针对

多种处理设施并存、技术水平硬件基础不一等问题，构建全市统一的处理设施智慧管控系统，建立了统一的信息数据管理平台和智能化数据获取及传输体系，实现了垃圾处理设施的优化调配、在线监控、安全保障等多维度管控功能。针对可回收物底数不清，来源去向不明，管理水平相对落后，严重制约“两网融合”推进等问题，利用物联网和 SAAS 服务平台，依靠各类设备集成，实现了再生资源系统回收站点原有计量系统计量数据的智能采集及传输，破除了“两网融合”的数据壁垒。为满足深圳市“志愿先行、校园发动、全民参与”的垃圾分类治理模式，构建了智慧公众平台，集成公众参与端口，将志愿督导、公众随手拍、入户宣传等公众参与方式集合到统一平台，大幅提升公众参与水平。

（五）建立多维度环境绩效综合评估体系及货币化方法，支撑深圳垃圾分类处理系统科学管理与优化升级。为了全面表征生活垃圾处理全流程的综合绩效，建立了涵盖减量化、稳定化、物质回收量、能源回收量、温室气体排放与环境影响评价等六项指标的综合绩效指标体系，核算不同垃圾分类处理技术路线的环境绩效，进而采用货币化方法将各项指标的影响换算为货币价值，得到综合隐性成本。评估结果表明，深圳市厨余垃圾处理设施中，大型厌氧消化、水解酸化制碳源设施的综合环境绩效较好，而中小型就地好氧发酵或烘干设施的环境绩效较差。各品类生活垃圾处理中，强化可回收物规范回收的综合环境绩效最为显著。以不同厨

余垃圾分出率为变量评估深圳市生活分类处理系统的综合环境绩效，发现 25-35%厨余分出率下综合环境绩效可达最优，不进行厨余垃圾分类，或者厨余垃圾过度分类，系统的综合环境绩效均会出现下降，而且过度分类情景下综合环境绩效下降速率与幅度均显著高于厨余垃圾低分出率情景。与混合垃圾全量焚烧相比，推行生活垃圾分类后，深圳市生活垃圾处理系统物质回收量提升了 59.2%，能源回收量降低了 14.1%，温室气体排放下降了 12.4%，其他环境影响的人均当量 PE 总值降低了 35.0%。根据各项指标的货币化结果，以大型焚烧发电为核心的深圳市生活垃圾处理系统较为先进，其综合环境绩效的隐性成本为-139.8 元/吨，即已经呈现出正面的环境经济效益；分类处理以后，隐性成本降低到-171.5 元/吨，说明推行垃圾分类可进一步提升系统的环境经济效益；在厨余垃圾适度分类基础上，强化可回收物回收系统的规范管理，并以生产者责任延伸制度驱动可回收物高值利用，隐性成本将进一步大幅降低到-246.6 元/吨。上述货币化评估结果清晰表明，推行垃圾分类并在科学管理基础上实现提质增效，可创造突出的环境经济效益，为“绿水青山就是金山银山”提供了生动诠释。

（六）形成垃圾分类整体解决方案与长效机制政策建议，在全国发挥辐射带动与先行示范作用。在深入研究和长期实践中，凝练提出了深圳市超大城市生活垃圾分类先行示范模式，其基本特征为：以选择性精准分类为基础，以校园

/社区发动志愿服务为特色，以厨余垃圾适度分类为系统优化节点，以可回收物规范管理为迭代升级方向，以清洁高效焚烧发电为核心依托，以全过程智慧监管平台为保障。这一模式全面落地深圳，深圳市生活垃圾分类处理取得突出成效，其整体水平的回收利用率和资源化利用率均较项目实施前有明显提升。目前，深圳市生活垃圾分类回收利用率达到49%，居于国内领先和国际先进水平；环境负荷大幅下降，有效提升了人民群众的幸福感和获得感；提出的深圳市生活垃圾分类处理整体解决方案和长效机制政策建议等报告，对我国其他城市，尤其是超大及特大城市因地制宜稳妥有序推进垃圾分类工作发挥了一定的守正、创新、纠偏作用。

三、面向提质增效要求进一步强化超大城市生活垃圾分类科技支撑的建议

（一）进一步完善生活垃圾智慧监管平台功能与数据共享交汇机制，实现垃圾分类监管平台与环卫设施监管平台的数据互联互通，全面打通社区—街道—区—市多层级管理部门以及商务、环境、教育等相关职能部门垃圾分类管理相关数据链条，形成垃圾分类管理“一张网”，进一步提升垃圾分类精细化、智慧化管理水平。

（二）面向超大城市碳达峰碳中和目标，推动居民生活垃圾源头减量与分类投放的碳普惠核算与认证，建立生活垃圾分类减污降碳协同增效标准化评估方法，以及“绿水青山

就是金山银山”的生态环保价值转化核算方法体系，持续引领垃圾分类处理系统优化升级发展方向。

（三）建立厨余垃圾管理层次框架与行动指南，着力推动食品供应链废物预防减量、大型商超与连锁餐饮企业余量食物捐赠、品质可控厨余垃圾的饲料化利用，积极推动厨余垃圾短程快速大规模处理技术的标准化与工程化应用，如水解酸化制备碳源应用于污水生化处理，开发沼气化学链制氢或催化重整制氢技术与装备，构建有机固废或沼渣生化或热化学稳定化—安全土地利用储碳产业共生模式，实现城市有机固废的全链条生态循环利用。

（四）以可回收物规范回收体系建设为重点，切实推动垃圾分类收运与再生资源回收“两网融合”，补齐我国超大城市与发达国家先进城市之间在垃圾分类系统上存在的最为突出的短板。积极探索在塑料瓶、玻璃瓶、轻质包装、快递包装等可回收物回收中落实固废法确立的生产者责任延伸制度及押金回收制度，引导城市出台低值可回收物回收支持政策并建设规模适宜的集中式现代化分拣中心，促进可回收物回收系统转型升级与良性发展，促进回收行业提高技术与管理水平，实现可回收物回收的功能定位从“废品回收”到“环境服务”的跃迁和转型。

（五）因应国际国内塑料垃圾管理及微塑料等新污染物治理焦点问题，系统开展超大城市塑料垃圾管理及微塑料污染状况调研，结合超大城市垃圾分类、“无废城市”建设、

塑料污染治理等目标，提出塑料垃圾回收利用以及微塑料等新污染控制技术路径与管理策略，开展典型塑料垃圾物理回收及化学回收的技术验证与工程示范。

（六）在借鉴国内外先进经验基础上，研究不同收费方式的可行性与有效性，加快出台和实施非居民厨余垃圾和其他垃圾收费制度，在快速发展的物联网、人工智能技术支撑下逐步实行非居民和居民生活垃圾计量收费制度，发挥经济杠杆的调节和引导作用，进一步强化居民垃圾分类意识提升和责任落实，促进居民减量分类习惯养成，同时降低政府财政负担。

（七）调研超大城市固体废物园区集约化处理的发展现状，总结固废环境园区或循环经济产业园区循环化改造的经验，对各个固废环境园区或循环经济产业园区开展系统全面的诊断评估，充分挖掘已有设施处理能力潜能，提升处理效能，进一步强化和发挥各个环境园区在废物协同、物能循环、设施共享、污染减排方面的优势。

（八）针对超大城市生活垃圾产生量大、处理系统以焚烧发电为主状况下大量产生且富集重金属与二噁英类污染物的生活垃圾焚烧飞灰，结合超大城市自然社会经济条件，以跨介质环境污染控制和全过程环境健康风险防控为目标，开展分质资源化、安全稳定化创新技术的工业化试验与工程示范，实现垃圾焚烧飞灰的低碳、低风险、长效安全处理。

（来源：环卫之声）

张家港生活垃圾分类智能收集设施亮相央视

6月16日，江苏省《生活垃圾分类智能收集亭管理规范》正式实施。这是国内首部生活垃圾分类智能设施管理领域的省级地方标准。张家港市积极响应上级政策方向，立足基层实际，深入探索AI智慧助力垃圾分类新模式。6月18日，张家港生活垃圾分类智能收集设施亮相CCTV4《中国新闻》栏目。

近年来，张家港市通过增设垃圾分类智能箱、加装监控设施等举措，把“智慧站、智慧投、智慧识、智慧管”的“智慧大脑”与督导员日常巡查督导、分类专班常态化检查相结合，以智能化、精细化、系统化、动态化的管理实现垃圾分类工作成效大提升。目前，全市试点设置生活垃圾分类智能收集设施的居民小区有5个。

“嘀！你已进入垃圾分类监控区域，请正确投放！”张家港市高新区积极探索垃圾分类无人值守模式，通过感应音响宣传普及垃圾分类知识，通过人脸识别与分类质量识别摄像头精准感知居民分类是否准确并进行语音提示，根据分类质量情况自动生成相应的积分。

通过数字化赋能，打造凤凰镇生活垃圾分类监管平台，运用智能抓拍、互联网、数据对接等技术，对辖区内“三定一督”分类亭、垃圾分类驿站进行监管。凤凰镇凤凰花苑设

置的“24小时生活垃圾分类智能收集亭”是凤凰镇生活垃圾分类工作取得的显著成效，居民通过人脸识别、扫码、刷卡等多种方式随时开箱，不受定时投放限制，大大减少亭房外散包垃圾随意丢弃问题。

南丰镇永合社区配备100台AI款智能垃圾分类一体机，垃圾入桶后，在内部进行破袋清洗和称重，显示屏上随即显示垃圾的重量和分类准确率，数据同步上传至永联垃圾分类智慧云平台，投递积分自动计入个人账户。

以金都社区为试点对小区内6座生活垃圾房进行智能化提升改造，更换成标准四分类“5G+AI”垃圾驿站，有效解决了人工督导能力不足等问题。金港街道与中国建设银行张家港分行签订垃圾分类积分兑换数字货币协议，社区居民可通过“智能垃圾分类”微信小程序绑定手机和银行卡，后台系统将对投放情况进行打分，累计积分可以兑换数字人民币红包，在相应的商户进行消费。



大新镇将新东社区 26 号垃圾亭升级改造为“5G+AI”智能化监管垃圾投放设施，在分类设备终端集成人脸识别、刷卡扫码、分类回收、GPS 定位、视频监控、满溢报警等功能，社区通过可视化大数据平台实时监控、调度、分析，有效解决“误时投放”、人工督导能力不足、亭内“脏乱差”等问题。

下一步，张家港市将继续推动生活垃圾分类管理全体系的智能化升级，创新建设“港城云哨”预警系统，以数字化创新基础设施运营和监管模式，强化信息收集、共享、分析、评估和预警，实现高质量绿色发展。

（来源：环卫之声）

广州推动垃圾分类志愿服务高质量发展

近年来，广州利用“志愿之城”制度优势，广泛汇聚全社会志愿者力量，积极发挥志愿者在基层治理中的独特作用，推动垃圾分类志愿服务高质量发展。

一、健全制度机制

出台《广州市生活垃圾分类管理条例》，明确不同主体开展垃圾分类志愿服务的责任和义务，实施激励办法，引导

各级志愿服务组织和广大志愿者积极参与，印发工作方案，系统规范组织架构与设置、服务内容与评估、志愿者招募与管理、权益保障与监督，制定生活垃圾分类志愿服务管理规定和若干工作指引，形成“4+N”的政策支撑保障体系。成立市级总队、区级分队、镇（街）级小分队、村（社区）级小队四级垃圾分类志愿服务队伍，分级组建垃圾分类志愿服务组织 3028 个、注册志愿者近 3.5 万名。建立工作协调、评估、激励机制，定期讲评志愿服务工作，做好志愿者档案管理、时数记录、工作评估。

二、完善服务平台

依托广州“志愿时”系统平台设置“垃圾分类”志愿服务活动类型，统一队伍注册、活动发布、时数登记、数据管理等要素。探索应用大数据、人工智能、区块链等数字技术，推动广州“志愿时”与广东“i 志愿”、广州“穗好办”系统平台有效衔接。立足垃圾分类宣教基地、循环经济产业园和新时代文明实践中心（站、所）等现有资源，按照有场所、有人员、有资金和能活动、能学习、能训练“三有三能”要求，打造 11 个市级、177 个区级垃圾分类志愿服务阵地。借助市级志愿者学院和志愿者行动指导中心专业机构，开发垃圾分类志愿者培训课程，编写垃圾分类志愿服务学习手册，定期组织开展垃圾分类志愿者岗前基础培训和项目知识技能专项培训。

三、打造示范项目

打造“穗时尚”党员垃圾分类志愿服务示范项目，组建党员“先锋队”挨家挨户宣讲垃圾分类政策法规，搭起党群“连心桥”共同商讨解决垃圾分类堵点难点问题。2019年以来，全市累计约30万名党员干部参与社区垃圾分类志愿服务活动60余万人次，服务超过1000万人次。组建垃圾分类学生社团或志愿团队，组织开展广州市少先队垃圾分类志愿服务活动，鼓励少先队员就近就便开展垃圾分类宣传，通过“小手拉大手”影响一个家庭、带动一个社区，推动全民参与垃圾分类。2023年，全市各级各类学校组织垃圾分类志愿服务活动5886场，上岗志愿者4.38万人次。

四、丰富活动载体

结合垃圾分类宣传周、文明城市创建、地球日、环境日、志愿者日等重大活动、重要节日，常态化组织开展“百家讲堂”科普宣讲、“送课到街镇”技能培训、“垃圾分类进万家”社区宣传、“争当分类达人”社会实践等志愿服务活动。组织青年学生志愿者团队每年策划“垃圾分类 一起来更精彩”嘉年华系列活动，以情景剧、说唱歌曲、环保服装走秀等快闪表演，吸引市民游客了解垃圾分类。联合餐饮外卖企业共同发起“分类新时尚 低碳齐参与”活动，倡导人人自愿参与减少使用一次性用品、“光盘行动”、限塑等生活垃圾源头减量行动。

五、创新工作实践

开展“拾分美丽”青少年助力垃圾分类志愿服务行动和公共机构垃圾分类“万人志愿服务”活动，引导社会各界自觉养成垃圾分类、节约资源、绿色低碳的文明习惯。各级志愿服务组织和广大志愿者带头在家分好类、定时拎下楼、定点精准投，并带动家庭成员、亲戚朋友、邻里街坊参与，推动构建“纵向到底、横向到边、共建共治共享”的社区治理新格局。全市近3.5万名注册垃圾分类志愿者积极参与“美丽中国，我是行动者”系列活动，自觉践行“光盘行动”、绿色出行、节约用纸、少用一次性用品等绿色低碳生活方式。结合筹办“十五运会和残特奥会”，部署开展“做好垃圾分类 助力无废全运”志愿服务行动，招募青年志愿者走进赛事场馆、接待酒店，向公众提供垃圾分类宣传教育服务。培育垃圾分类志愿文化，将志愿服务实践中的典型人物、感人事迹和先进经验，编排成歌舞、小品、情景剧、诗歌、快板等艺术作品，深入学校、社区、商圈、企业、乡村巡演，让市民群众在寓教于乐中增强认同、启发自觉、点燃热情。

（来源：广州市城市管理和综合执法局）

厨余垃圾处理技术应用分析及综合评估

本文介绍了六种厨余垃圾处理技术路线，简要分析了不同技术处理原理、优势及不足等应用经验。在此基础上，根据层次分析法构建了不同技术指标评价体系，从技术、经济、环境及社会效益四个维度选取了关键指标，对技术进行量化排序。经归一化计算得出不同技术综合排序为：厌氧制酸 > 厌氧产沼 > 生物养殖 > 三相分离 > 压榨脱水 > 小型处理机。各技术均有其应用优势及不足，不同区域应根据实际应用场景和适用条件因地制宜地选择合适的处理技术。

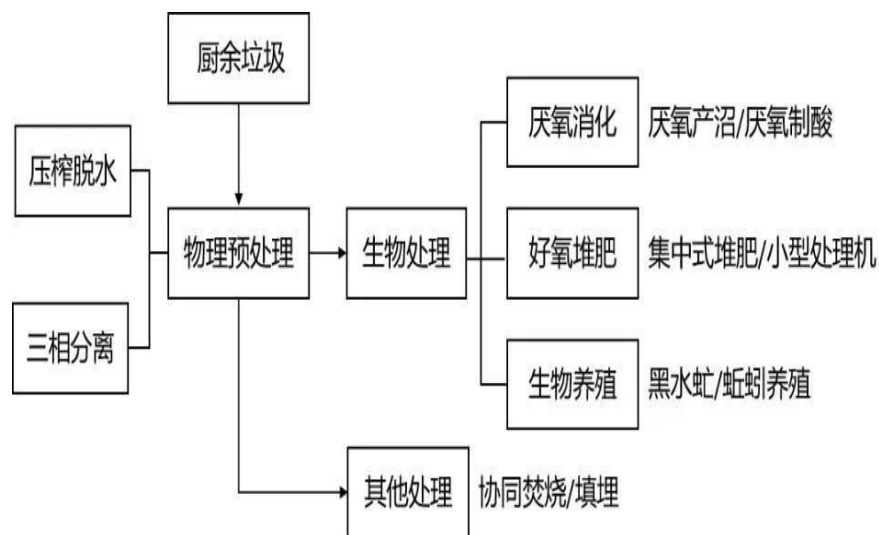
引言

随着城市生活垃圾分类工作的深入推进，厨余垃圾的处理需求日益趋增。厨余垃圾具有“四高”特性和“双重”属性，其中，油脂含量高和有机质含量高，体现了其资源属性，含水率和含盐量高、易腐烂变质，体现了其危害属性。因此，如何选择合适的处理技术对厨余垃圾进行资源化、减量化和无害化处理，已成为当前城市面临的一个重要难题。

一、厨余垃圾主要处理技术应用情况

根据处理原理不同，厨余垃圾处理技术可分为物理法、生物法和其他法。其中，由于厨余垃圾成分较复杂，在进行

综合处理前，首先需要通过物理方式进行除水、除杂、除油等预处理，筛分出各类物料，并对不同物料进行分类分级处理及利用。常用的物理预处理方法包括压榨脱水和三相分离等技术。同时，由于厨余垃圾有机质含量高，可利用生物法深度处理进一步实现资源化利用。常用的生物法包括厌氧消化、好氧堆肥、生物养殖等技术，厨余垃圾经不同生物法处理后可产生沼气、肥料或饲料等资源产品。部分地区还采用其他法，如通过与其他垃圾协同焚烧或填埋处理，以实现厨余垃圾无害化处理的目的。在实际处理技术工艺设计及应用时，通常会将物理法、生物法或其他法处理技术组合应用，以实现处理效益的最大化（图 1）。



本研究通过调研获取深圳市厨余垃圾处理技术应用案例投入及产出情况，总结了不同技术的应用优势及不足，如表 1 所示。

表1 不同厨余垃圾处理技术应用情况比较

处理技术	厌氧产沼	厌氧制酸	生物养殖	三相分离	压榨脱水	小型处理机
处理规模 (吨/日)	大, ≥200	一般, ≤100	一般, ≤100	较大, ≥100	较大, 50~300	小, ≤50
占地面积 (平方米/吨)	较大, 30~80	一般, 30~60	大, 80~100	较小, 6~25	小, 2~8	较小, 5~30
建设周期	慢, >12个月	较慢, >6个月	一般, 3~6个月	一般, 3~6个月	较快, 1~3个月	快, <1个月
处理时间	长 >20d	较长 约10d	一般 7d	较短	短	短 12~24h
可操作性	复杂	较复杂	较复杂	较简单	简单	简单
监管难度	工艺复杂, 监管难	工艺较复 杂, 监管 较难	工艺较复杂, 监 管较难	工艺较简单, 监管较易	工艺简单, 监 管易	工艺简单, 但统筹监管较难
建设成本 (万元/吨)	高, 30~60	较高, 30~40	一般, 15~40	较低, 18~20	低, 2~17	波动大, 5~90
运营成本 (元/吨)	较高, 287	高, 290~400	一般, 260	较低, 170~290	大部分在200元 以下	最高可达1000元 以上
污染物 碳减排贡献	对环境 影响较小 较大	对环境 影响较小 较大	存在臭气污染问 题 大	对环境影响 小 较大	对环境影响小 小	存在环保排放不 达标 较小
资源化产品	沼气	有机酸	昆虫蛋白、虫粪 砂	油脂	——	土壤改良剂
资源化利用 产品市场 及应用	一般	高	较高	较低	——	一般
风险性	技术较 成熟可靠, 风险低	技术 成熟可靠, 风险低	存在生物 安全风险	需要考虑后 续产物处理 去向	需要考虑后 续产物处理 去向	靠近居民区, 邻 避风险高
稳定性 与完整性	工艺链完整, 运行稳定	工艺链完 整, 运行 稳定	工艺链完整, 运 行稳定性受食腐 动物的影响	工艺链不完 整	工艺链不完整	设备运行稳定性 较差
技术推广 前景	好	好	较好	一般	一般	较差

二、指标体系构建及分析

由于厨余垃圾处理技术应用类型多样，对技术的选择是一个复杂的系统工程，涉及技术、经济、环境、社会等多个方面。目前关于城市生活垃圾处理技术方案的研究较多，如层次分析法和模糊数学评价法。其中，层次分析法是采用优化方法将复杂的系统分析简化为各种因素之间的成对比较判断和简单排序计算，从而使难以用参数型数学模型方法解决的复杂系统的分析成为可能。本研究采用 AHP 方法对不同厨余垃圾处理技术进行简化对比分析及排序。

(一)构建比选指标体系。指标体系分为 3 层（图 2），其中，目标层 A 是厨余垃圾处理技术方案选择；中间层是需要考虑的因素和决策的准则，分为准则层和指标层，其中准则层 B 包括技术可达性、经济效益、环境效益和社会效益，

指标层 C 是由构成技术可达性、环境效益、经济效益和社会效益的关键指标组成；方案层 D 是指不同的厨余垃圾处理技术，本研究共分为 6 种。

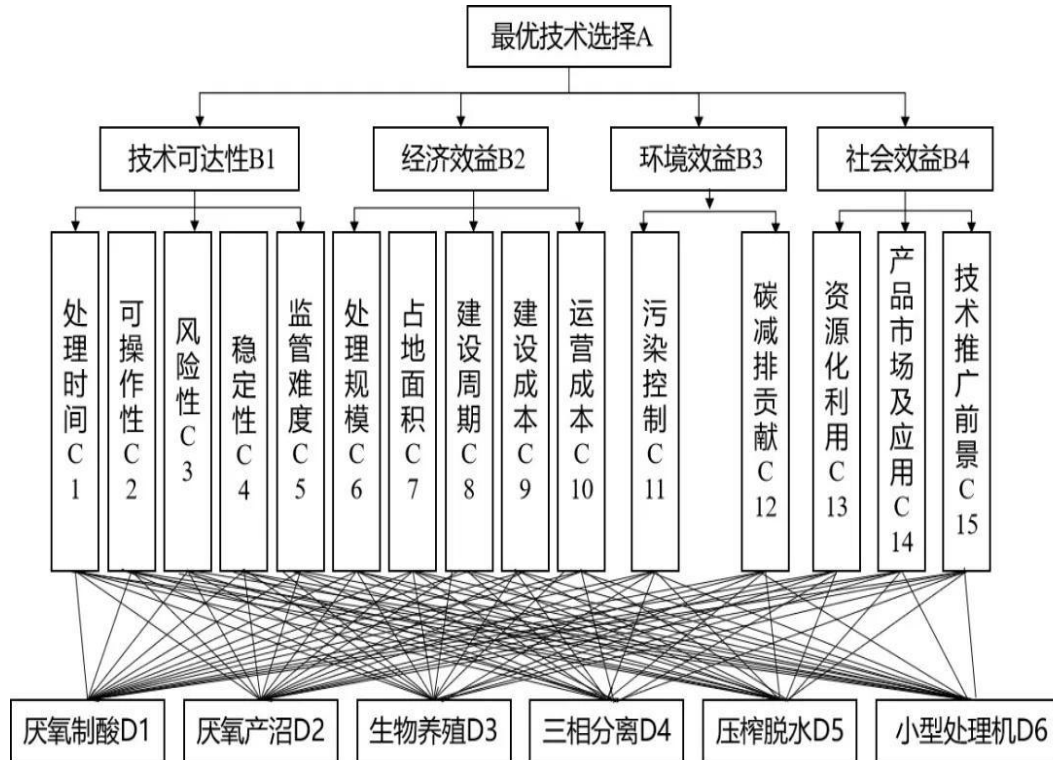


图 2 技术综合评估指标体系构建

(二) 构造判断矩阵。根据参与比较的两个因素相对于上一层它们共同隶属的那个因素的重要性，赋予一个 1-9 的标度值，并写成矩阵的形式。

(三) 对于形成的判断矩阵，计算其最大特征值及其相应的特征向量，经过对特征向量的数学处理，进一步得出各指标因素的权重。在计算得到某一层次相对于其上紧邻层次各个因素的单排序权重后，用上一层次因素本身的权重进行加权综合，得到层次总排序的权重值。最终根据判断矩阵标度，

对厨余垃圾处理技术指标体系中各指标进行归一化值的计算，最终得到各技术选择的得分。

三、结果分析与讨论

由表 2 可知，不同厨余 6 种垃圾处理技术的综合排序为：厌氧制酸 > 厌氧产沼 > 生物养殖 > 三相分离 > 压榨脱水 > 小型处理机。

其中，厌氧制酸技术得分最高，该技术应用综合优势最好，厌氧产沼技术和生物养殖技术得分较接近，可以根据适用场景和条件进行选择应用，三相分离和压榨脱水技术得分次之，主要可作为厨余垃圾预处理工艺与其他工艺组合应用，小型处理机技术得分最低，该技术可作为备选，在处理能力不足时的过渡期选择应用。

各类技术都有其优缺点和适用场景，从技术应用方面看，厌氧产沼技术相对成熟可靠，自动化程度高、有机负荷承担能力高，一般应用于大型处理项目，但该技术工艺复杂，处理周期长，处理后会产生大量的沼渣沼液需要进一步处理。相比厌氧产沼，厌氧制酸由于不生产甲烷阶段，因而处理周期大幅度缩短。生物养殖技术通过生物质形态的完全转化，完全阻断源性蛋白病毒在食物链中的传播，技术相对可靠，但在分选进料、臭气控制、稳定存储方面仍具有较大挑战，一般处理规模在 100 吨/日以下。压榨脱水及三相分离通常适合作为预处理技术与其他处理工艺组合协同应

用，不仅能通过分类分级处理减少后端设施的处理压力，同时还能降低杂质和油脂等物料对末端设施运行造成的损耗，减量化优势明显，资源化利用水平不高，但若将其单独作为处理设施应用时，需考虑其处理后各类产物的去向。小型处理机技术具有工艺简单、占地小、建设快及处理周期较短，基本能实现日产日处理等优势，但一般以几吨或十几吨的设备为主，且由于市场上设备类型多、更新快，运行稳定性还有待提高。

从经济效益方面看，厌氧消化可通过规模化建设实现集约化处理，提高土地利用效率，降低处理成本。然而，该技术工艺链长，需配套设施设备数量多、占地大、建设及运维要求高，前期建设投资较大，吨投资约为 30~60 万元/吨，后期运营维护费用高，处理产生的沼气可发电利用，整体经济效益一般。生物养殖处理后能产生高价值的蛋白饲料和肥料。市面上优质的蛋白饲料产品每吨可出售 8000-10000 元，产品经济效益高。小型处理机技术总体投资建设成本偏低，但由于处理规模小，折合至吨成本费用明显偏高，同时其运行成本较高，约 400~600 元/吨，部分设备的运行成本甚至超过 1000 元/吨。整体而言，经济效益相对较差。

从环境效益方面看，一方面，避免或减少对环境造成污染是关键。具有规模化的处理设施在建设应用时，通常会配套完善的环保处理设施，并严格执行污染物排放标准，对环

境污染影响较小。然而，据检测大部分小型处理机存在污水、臭气排放不达标等问题。另一方面，在“双碳”背景下，碳排放是目前广受关注的焦点。综合考虑工艺模式、产品类型及产量、处理能耗等因素，李欢等通过综合比较我国厨余垃圾处理模式，证明了厌氧消化具有较好的环境效应，碳排放相对较低。生物养殖技术不仅可通过生物转化实现固碳，再加上能耗低，碳排放相对低。小型处理机虽然能通过有机碳腐殖化实现固碳，但是由于处理时间短降解不充分，再加上设备运行需保持较高温度，电耗偏高，部分设备可达到 $200\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$ ，因此碳排放量偏高。

从社会效益方面看，以厌氧制酸和生物养殖技术的资源化利用程度相对较高。处理后的产品应用价值较高，厌氧制酸产生的有机酸液 C/N 比达 40% 以上，可作为优质生物活性碳源用于污水厂的碳源补充，实现厨余垃圾与城市市政污水的协同处置。生物养殖得到的产品能作为一种基础性原料被广泛应用于饲料生产、生态养殖等领域，技术发展前景广阔。小型处理机处理产生的肥料腐熟度不高，仅适合作为土壤调理剂用于园林绿化，或者进一步加工完全腐熟后再作为农作物肥料使用。同时采用该技术的设备一般以就近原则设置在小区、学校、市场、超市和转运站等场所，邻避风险较大，目前大部分城市将该技术作为厨余垃圾应急处理渠道。

表2不同厨余垃圾处理技术总排序结果

目标层	中间层		方案层D							
A	准则层B	准则层C	D1	D2	D3	D4	D5	D6		
	B1	0.25	C1	0.0783	0.0021	0.0010	0.0031	0.0041	0.0051	0.0041
			C2	0.2697	0.0075	0.0037	0.0075	0.0150	0.0150	0.0187
			C3	0.2697	0.0198	0.0159	0.0119	0.0079	0.0079	0.0040
			C4	0.2044	0.0134	0.0108	0.0108	0.0081	0.0054	0.0027
			C5	0.1779	0.0052	0.0026	0.0052	0.0079	0.0105	0.0131
	B2	0.25	C6	0.2162	0.0108	0.0135	0.0081	0.0108	0.0081	0.0027
			C7	0.4371	0.0129	0.0129	0.0064	0.0193	0.0257	0.0321
			C8	0.0614	0.0017	0.0009	0.0026	0.0026	0.0034	0.0043
			C9	0.1426	0.0039	0.0021	0.0063	0.0084	0.0105	0.0045
			C10	0.1426	0.0042	0.0042	0.0063	0.0084	0.0105	0.0021
	B3	0.25	C11	0.6667	0.0379	0.0379	0.0227	0.0303	0.0303	0.0076
			C12	0.3333	0.0175	0.0175	0.0219	0.0132	0.0088	0.0044
	B4	0.25	C13	0.5396	0.0397	0.0238	0.0317	0.0159	0.0079	0.0159
			C14	0.1634	0.0120	0.0072	0.0096	0.0048	0.0024	0.0048
			C15	0.2970	0.0177	0.0177	0.0141	0.0106	0.0106	0.0035
综合得分			0.2063	0.1716	0.1683	0.1671	0.1621	0.1245		
综合排序			1	2	3	4	5	6		

注：比较矩阵的CR<0.1，通过一致性检验。

四、结论及建议

(一) 不同厨余垃圾处理技术都有其优缺点及其适用条件，厌氧制酸处理产生高浓度有机酸，可作为优质外部碳源补充。厌氧产沼技术成熟可靠，可规模化应用，但需解决沼渣、沼液的资源化处理去向。生物养殖技术资源化利用水平较高，且环境效益较好，但占地大、进料要求、臭气控制、稳定存储方面限制了规模生产。三相分离和压榨脱水可作为集中处理设施的预处理单元，或者作为单独运营的厨余垃圾处理设施，其优势在于减量化明显，但需要考虑后续固形物的配套处理去向。小型处理机技术虽能在短期内建成并投产运行，但运行费用高、存在环保不达标、运行不稳定性等风险问题。

(二) 通过层次分析法对不同厨余垃圾处理技术进行简化对比分析及排序。综合得分排序结果为厌氧制酸 > 厌氧产沼 > 生物养殖 > 三相分离 > 压榨脱水 > 小型处理机。

(三) 建议决策者应根据区域实际应用场景和适用条件，因地制宜选择合适的处理技术。从长远可持续发展角度考虑，宜优先选用厌氧消化等综合效益较高的处理技术作为厨余垃圾的主要处理去向，但同时可探索发展不同方向的厨余垃圾处理技术路线，提升厨余垃圾处理能力。

(来源：城市管理与科技)

海漂垃圾治理的厦门实践及启示

近期施行的新修订的《中华人民共和国海洋环境保护法》，明确提出县级以上地方人民政府要加强海漂垃圾污染防治，建立海漂垃圾监测、拦截、收集、打捞、运输、处理体系。厦门市海域面积约 355 平方公里，海岸线总长度 226 公里，在海漂垃圾治理方面形成的“四化”（制度化、常态化、系统化、信息化）治理机制被纳入国家生态文明试验区改革举措和经验做法清单向全国推广，通过“岸上管、流域

拦、海面清”，厦门市 2023 年的海漂垃圾分布密度保持全省最低的 96.63 平方米/公里。本研究主要介绍厦门市在海漂垃圾治理方面的做法及实践经验，为我国其他沿海城市开展海漂垃圾治理，保护海洋生态环境提供参考。

一、厦门海漂垃圾治理主要做法

（一）建立跨区域污染协同防治机制

跨区域污染协调防治机制主要用于解决垃圾受水流影响可导致垃圾跨区域流动的问题。厦门海域海漂垃圾受九龙江和周边海域影响，如雨季和台风季期间，大量腐枝烂叶、木头、水草，以及沿岸散存的生活垃圾，通过九龙江进入厦门海域，对厦门海漂垃圾的“贡献”可以达到 80%；通过九龙江和海水养殖输入到厦门海域的塑料垃圾占比超过 30%。依托《福建省九龙江流域水污染防治与生态保护办法》等政策文件，厦门市与九龙江上游的龙岩市、泉州市和漳州市人民政府建立了九龙江流域水生态环境跨行政区域协同管理机制，并通过“受益者补偿”模式出资支持九龙江流域上游城市开展山水林田湖草生态保护和修复，有效减少了九龙江流域上游城市生活垃圾、农膜、农药包装瓶和水产养殖垃圾等输入至厦门海域；依托《进一步加强海漂垃圾综合治理行动方案》等政策文件，厦门市与福建其他沿海城市共同推动海上传统养殖设施改造，淘汰木质渔排、泡沫浮球、塑料瓶等传统养殖设施，积极改造传统养殖渔排、改造贝藻类养殖

面积和新建深水大网箱，有效减少了周边城市近海养殖产业排放的海漂垃圾进入厦门海域。

(二) 全面推动生活垃圾分类工作

海漂垃圾的“根”在陆上，开展生活垃圾分类工作是管控陆上垃圾的有效措施。厦门市早在《1985年—2000年厦门经济社会发展战略》中即明确提出生活垃圾“不要任其堆放或倾倒海域”，到2017年颁布实施《厦门经济特区生活垃圾分类管理办法》，厦门市全面推动生活垃圾分类工作，已建成完善的生活垃圾分类体系。

在分类投放方面，进一步细化生活垃圾的类别，通过开展定时定点投放和合理设置路边果皮箱等方式，方便市民投递垃圾；在分类收集和分类运输方面，启动生活垃圾错峰直运，按照“定点收集、桶车对接、公交化运输”的模式开展生活垃圾分类收集和运输；在分类处理方面，完善了生活垃圾末端处理设施，推动生鲜垃圾零填埋，提高生活垃圾焚烧能力，焚烧能力已经达5850吨/日，厨余垃圾处理能力达1100吨/日、有害垃圾和工业固废处置能力达4.65万吨/年、低值可回收物分拣能力50吨/日。通过建立完善的生活垃圾分类体系，厦门市实现了生活垃圾日产日清，有效管控了陆上生活垃圾进入厦门海域的通道，减轻了海漂垃圾清理压力。

(三) 实现海漂垃圾常态化清理作业

海漂垃圾的清理作业是厦门市生活垃圾分类体系的重要组成部分。根据《厦门近岸海域水环境污染治理方案》《厦门市近岸海域海漂垃圾综合治理工作方案》等工作方案的要求，厦门市已建立海上和海岸线垃圾清理专业保洁队伍，其中，海漂垃圾清理属于市级专业化保洁队伍，每天根据潮汐和海面垃圾分布情况，对海域开展海漂垃圾打捞作业；海岸线垃圾清理属于区级专业化保洁队伍，一般在退潮后开展辖区沿岸垃圾清理作业。海岸线垃圾清理和海面垃圾清理是一个协作过程，一般涨潮时候清理海面垃圾，退潮时候清理岸线垃圾。如果海面垃圾清理不及时，涨潮时滞留在岸线的垃圾就多，反之如果岸线垃圾清理不及时，岸上垃圾可能随退潮水进入海面。海漂垃圾的清理需要投入趸船、打捞船外，还需要配套垃圾转运车、吊车等，作业设备折旧、趸船和打捞船年检、年度维修、购买保险等费用支出占投入的比例可达70%以上，为此，厦门市、区财政每年投入约1亿元经费用于海漂垃圾治理，有力保障厦门海漂垃圾常态化清理作业的正常运行。

(四) 完善海漂垃圾监测预警体系

厦门市在推进海漂垃圾治理中，持续完善海漂垃圾监测预警体系建设，依托自然资源部第三海洋研究所、厦门大学等科研院所建设海漂垃圾监测预警预报系统，预测海漂垃圾漂移轨迹及分布区域，然后由厦门市生态环境局等单位每日

发布《厦门湾全海域海漂垃圾漂移轨迹及分布预测预报单》对海漂垃圾进行预警，为常态化海漂垃圾清理作业队伍提供作业参考和指导。随着人工智能技术的发展，厦门海漂垃圾监测预警也已引入了智能视频和无人机航拍技术，在沿海重点岸段安装视频监控，利用高清摄像头和卷积神经网络技术对近岸海域的海漂垃圾实时监测；运用无人机航拍方式不定期航拍厦门各区的重点海岸段，通过航拍发现问题及时开展整治。此外，厦门还设立海上环卫调度中心，开发智慧海上环卫系统，将海漂垃圾打捞船船舶定位数据、岸线和海漂垃圾打捞船上的视频监控数据、潮汐数据等数据融合进智慧海上环卫系统，实现海漂垃圾信息化管理，极大提升海漂垃圾打捞清理效率。

二、厦门海漂垃圾治理经验与启示

从厦门市海漂垃圾治理的实践看，厦门市通过建立跨区域协同治理机制、全面推动生活垃圾分类、开展常态化清理作业和完善监测预警体系，构建了“源头减量、末端清理、综合保障”的海漂垃圾治理体系。从结果来看，厦门市构建的海漂垃圾治理体系是行之有效的，我国其他沿海城市开展海漂垃圾治理，可以从厦门的实践经验中获得启示。

（一）重视跨区域防治工作

沿海城市要重视海漂垃圾跨区域输入防治工作，建立跨市级或是跨省级的区域垃圾防治工作机制，加强对河流上游

地区和交界海域的垃圾管控。对省际分界线上的沿海城市，通过制定近海养殖产业环保型设施清单，推广使用环保塑胶材质的新型小网箱和浮球，减少养殖产业入海垃圾；制定海漂垃圾联合清理作业机制和预警通报机制，实现跨海域垃圾的协同清理。

（二）完善生活垃圾分类体系

我国于 2019 年全面启动了地级城市垃圾分类工作，很多沿海城市在垃圾的前端分类、收集和运输方面开展了较多的工作，但是在垃圾的末端处理环节还有不足，尤其是在塑料垃圾回收利用和废弃植物枯枝回收利用等末端资源化处理设施不够完善，可能导致生活垃圾泄露到环境中并进入海洋，同时也会影响到海漂垃圾清理上岸后的回收利用和无害化处置。因此，沿海城市在开展海漂垃圾的治理工作中，应完善生活垃圾分类体系，尤其要完善生活垃圾分类处理体系的建设。

（三）组建海漂垃圾清理队伍

海漂垃圾清理需要组建专业的队伍，配置专业的打捞船和吊装设备等，操作打捞船舶的船长和轮机长等人员应具备海事管理部门颁发的相关证书。海漂垃圾清理队伍主要负责近岸海域以及海岸线垃圾的清理。近岸海域垃圾清理使用的作业设备包括小型打捞船（一般负责近岸 50 米海域垃圾清理）和大型机械化收集船舶（一般负责近岸 200 米海域、河

流入海口等），船舶上有有效的通信、消防、救生等安全设施设备，定期开展年检工作。

(四) 保障海漂垃圾治理经费

海漂垃圾清理属于财政兜底性作业项目，应保障海漂垃圾清理作业所需经费，并积极争取国家级和省级配套的海漂垃圾治理奖补资金。直接的经费支出主要是建立海漂垃圾清理队伍和完善海漂垃圾的监测预警体系所需的费用，包括海漂垃圾治理作业用的船舶等专业设备的采购，监测预警体系软硬件投入和运营维护费用等。此外，在垃圾的跨区域输入防治方面，上游城市治污有益于下游城市减轻海漂垃圾治理压力，经济条件较好的沿海城市，可建立“受益者补偿”等机制为上游城市提供资金支持污染防治。

(来源：厦门科技)

广州推进“无废城市”建设有亮点

循环经济产业园变身“无废园区”“无废景区”；大型商场玻璃天幕增加户外电动遮阳帘，创建“无废文商旅综合体”；上线“穗碳”绿色低碳服务平台，引导企业绿色低碳用能发展……在“无废城市”建设中，涌现出不少独具广州特色的新亮点。

近年来，广州市深入推进“无废城市”建设试点工作，入选“十四五”时期“无废城市”建设名单，在全省率先发布“无废细胞”“无废园区”建设指南，省级20项重点指标全部达标，建成各类“无废细胞”1800多个。

创新路径 循环经济产业园变身生态景观公园

广州福山循环经济产业园藏身于一片青山环抱中，沿着小路蜿蜒向上走，灌木点缀在山坡间，精心布置的园艺景观、色彩鲜艳的慢行步道，仿佛是一座美丽的花园。福山循环经济产业园是国内第一家固体废物处理领域3A级工业旅游景区，也是国家生态环境科普基地。“原来，我们每天会产生那么多生活垃圾！”参观完福山循环经济产业园，游客刘先生情不自禁地感叹，“现在的垃圾处理技术很先进，通过循环利用垃圾也能发电，以后我们在生活中更要做好垃圾分类。”

“循环经济产业园+生态景观公园”是广州在“无废城市”建设中走出的一条创新路径。“无废城市”建设试点期间，广州创新思路，积极探索超大城市“无废城市”建设新路子，实践形成“七大循环经济产业园处理生活垃圾新模式”“含油金属屑等危险废物豁免利用管理”“建成穗碳绿色低碳服务平台”“攻克市政污泥减量处理难题”等多个“无废城市”建设典型示范案例。

垃圾处理与市民生活息息相关，广州在全国率先谋划建设了7个适应超大城市固废处理发展需求的循环经济产业园，垃圾焚烧设计处理能力达到3万吨/日，垃圾生化处理能力达6100吨/日。

协同推进上线“穗碳”绿色低碳服务平台

“无废城市”理念与“双碳”目标高度契合，广州把“无废”与降碳、减污、扩绿、增长协同推进。上线“穗碳”绿色低碳服务平台，在全国率先实现“碳排放计算、碳账户建立、碳信用评价、碳金融撮合”全流程线上服务。平台的使用非常便利，通过微信搜索便能直接进入平台，用户可以选择用电户号确认、导入票据或者自主填报的方式，将企业的电力、热力、油品、煤炭、天然气等能源消耗量以及经营数据信息导入其中。

2023年，“穗碳”绿色低碳服务平台作为广州市“四化”赋能重点平台，引导企业绿色低碳用能发展，推进广州市工信领域低碳发展。全省首发企业碳账户和碳信用报告，实现

全国首笔碳融资落地，实现绿色信贷利率与企业碳评级、碳信用挂钩。同时构建政企产融协同平台，促成授信绿色金融贷款 15.2 亿元。实现清洁生产审核的碳审核专章和工业节水核查两项线上服务。创新打造“产业园区服务专区”，已在全市 95 个产业园区应用。

“无废细胞” 让“无废理念”融入市民生活

正佳广场是一座建筑面积达 42 万平方米的超大型文商旅综合体，集旅游、文化、教育、娱乐、社交等功能于一体，在“无废城市”建设中，成为融合多种细胞类型的“无废文商旅综合体”。正佳广场利用环保材料对广场玻璃天幕增加户外电动遮阳帘，改造后外置遮阳帘可根据室外光线强弱进行自动调整，减少太阳热辐射，合理利用自然光，降低空调能耗，同时还能提高人们在广场内的舒适度，预计节约能耗 10%左右……“无废理念”融入广州市民生活的细微之处，同时也为商业发展注入新活力、增添新动能。

2023 年 2 月，广州市印发《广州市“无废细胞”建设指南（试行）》，制定了申报、评估、上报、发布等工作流程，同时发布了第一批 8 个行业“无废细胞”建设指南，包括“无废机关”“无废工厂”“无废学校”“无废酒店”“无废商场”“无废景区”“无废工地”“无废农场”，确保“无废细胞”建设工作规范有序推进。接下来，广州将深入推进“无废细胞”建设，拓展“无废细胞”建设类型，开展“无废大学城”“无废汽车城”“无废县区”以及“无废细胞”示范

点建设，探索开展“无废医院”“无废4S店”“无废加油站”等新型细胞建设，带动全社会积极参与“无废细胞”建设。

提质增效 “无废城市”建设进入高质量新阶段

近期，广州市印发“无废城市”提质增效建设实施方案，“无废城市”建设进入高质量新阶段。未来将落细落实提质增效建设方案，加强统筹协调，持续深入推进“无废城市”建设，确保提质增效方案落地见效。与此同时，为迎接2025年十五运会和残特奥会，落实绿色办赛理念，广州印发实施“无废全运”行动方案，将“无废”理念深度融入赛前筹备、赛中举办和赛后利用的全过程、各领域和各环节，确保赛会产生各类固体废物100%安全收集、贮存、转移、利用和处置。

（来源：信息时报）

福州融合体全数智绿色分拣中心投运

近期，福州新供（永丰）绿色数智分拣中心正式揭牌投运，该分拣中心是全国首个融合体全数智绿色分拣中心，具有“废塑料高低值全品类分拣，专业运营与公共服务，数智与传统低碳产业”多功能融合的特点，其建成并启动运营标

志着福州市生活垃圾分类及资源化利用方面在实现全链条处理的基础上进一步实现了规范高效的运转，向实现资源回收利用的绿色产业集群迈出了重要的一步。

该分拣中心在废旧物资循环利用体系中起支撑作用，既是一个城市可回收物的统一收口和资源化的关键节点。作为福州市探索垃圾分类收运体系和再生资源回收体系“两网融合”的重点项目，福州绿色数智分拣中心依照国家商务部绿色分拣中心规范要求，不仅布局科学合理，管理制度规范到位，在设有不同的功能区域和严格操作要求同时，还强化数智化运营管理，可全过程多节点数据实时上传和溯源，打造公共服务与专业分拣并举，低值可回收物全品类齐运作的综合性绿色回收产业服务型综合分拣中心。



据了解，该分拣中心在投建时就紧紧围绕绿色定位，按照“有生产办公物流分区、有完善的环保设施、有防水防渗处理、有规范的消防设施、有先进分拣加工设备、有信息管

理系统、有电子监控系统、有内部管理制度、有建立突发事件应急预案”的要求，积极开展绿色分拣中心建设。而且该分拣中心是根据福州本地再生资源回收利用的产业特色，建设的一所综合性的废塑料分拣中心，承接全福州的废餐盒，废塑料，废饮料瓶，废家电系列高低值全品类分拣，每条分拣线均能够实现精细化分拣、分类及打包。处理好的废塑料成品按标准存放至储存配送区域，再统一由中心配备的叉车装卸、运输、吊装传送运输至下游企业。



作为福州市构建“再生资源回收系统平台+环保驿站+智能分拣中心”三级规范收运体系和资源回收利用体系的重要节点，福州绿色数智分拣中心目前配备废塑料自动化分选设备、低值可回收物分拣线以及全数字化管理平台等软硬件设施，集废塑料的集散、储存、分拣、加工、交易于一体。该中心投入使用后，将满足废塑料等再生资源处理规模约 60

吨/日；首期实现年分拣处理废塑料可达 2 万吨。可有效覆盖福州市大部分区县再生资源回收分拣处置业务。



此前福州市城区已建成 100 座环保驿站，通过数字化管理平台可实现全市再生资源“数智化”智慧回收到智能品控入库并上机分拣的全过程高效运转。“其中，最为突出的是两条废塑料数字化智能分拣线”，据分拣中心相关负责人介绍，“两条分拣线全过程应用自动化控制系统，实现一键操作，全自动化智能分拣，尤其是光选机和智能分拣机器人，应用了 AI 图片高速识别技术，自动化识别可回收物并高速分拣，准确率高达 95% 以上，能够在有限的空间内做出最大的产能，降低能耗和生产成本，该设备目前也处在国内行业领先地位。”

目前分拣中心应用的数字化智能分拣控制系统。该系统融合了货物品类、重量和设备状态等核心数据，可对各条分

拣线进行柔性调度和控制，具备分拣线动态调优、多机协同分拣分拣线状态实时监控等功能。系统还配置设现场安全作业全流程业务管控系统，结合人员安全在岗、AI分析及重大危险源监测的应用管理，实时掌控区域作业情况，实现对作业过程在线信息记录、作业过程监管、过程追溯管理等。分拣中心接入福州市循环经济碳指数大数据平台，该平台以数字化形式，集“回收、交易、物流”于一体，实现了福州市再生资源回收的全流程进行立体化、数据化、可视化展示，实时监管 APP 回收系统及运输系统，统计分析再生资源的类别、数量，跟踪回收物流向，为政府顶层宏观设计提供可溯源数据支撑体系。

据悉，福州绿色数智分拣中心有效链接了前端回收、中端存放运输等环节，构建从生活垃圾分类回收到的回收利用的完整产业链条，以企业规模化、集约化、信息化、产业化发展，提高生活垃圾资源循环利用率，助力我国加快构建绿色低碳循环发展经济体系和推进“无废城市”建设，为国家实现碳达峰、碳中和的目标提供可借鉴、可复制的实践案例。

（来源：固废观察）

白云区建成 278 个“无废细胞”

近年来，白云区积极落实市“无废城市”试点建设工作部署，截至 2024 年 5 月，白云区在固体废物源头减量、资源化利用、无害化处置等工作上取得长足进步，完成了 278 个“无废细胞”建设，建设数量位居全市前列，“无废城市”建设工作初见成效。

聚焦“大而全”，提升固体废物资源处置能力

2022 年 8 月，广州市污染土壤集中治理与资源化利用处置中心（一期）（以下简称“处置中心”）在白云区正式运营。该处置中心占地面积 1.9 万平方米，污染土集中修复与治理能力达到 39 万吨/年。今年以来，处置中心已修复治理了广州溶剂厂、广州第一橡胶厂、东方红印刷厂、广州冶炼厂等地块污染土壤共 4.1 万吨，成为助力广州土地流转提质增效的“加速器”。

据了解，该项工作启动后，白云区成立了区“无废办”，加强工作组织、会商调度与监督考核，围绕工业、生活、建筑、农业、危险废物五大领域，积极推进 132 项“无废城市”建设任务落到实处。同时，积极提升生活垃圾、建筑垃圾、工业固废、农业固废等各类固体废物的资源化利用及无害化处置能力，基本建成种类齐全、能力充分的固体废物资源化利用、无害化处置保障体系。

目前，白云区具备生活垃圾焚烧处置能力 110 万吨/年，建筑垃圾利用能力 1602 万吨/年，危险废物综合处置能力 25.1 万吨/年，农药残余物包装物、垃圾焚烧飞灰、有机树脂类废物豁免处置能力 22.05 万吨/年，医疗废物处置能力 8.975 万吨/年，污染土修复治理能力 39 万吨/年，一般固废掺烧处置能力 912 吨/日；建成再生资源（可回收物）回收站 325 个、资源回收中转站 23 个、大件家具处理中心 1 个；推动市重点工程龙归通沟余泥处理站投入试运营，具备处理能力 240 吨/天，为华南地区产能最大的余泥处理项目。

打造“小而美”，多举措推进“无废细胞”建设

白云区对照《广州市“无废细胞”建设指南（试行）》，充分调动各类“无废细胞”建设牵头部门工作主动性、积极性，大力压实属地镇街责任，通过部门联动会商、现场调研、帮扶指导、制作奖牌激励等方式，多措并举、大力开展“无废细胞”试点建设。截至 2024 年 5 月，共建成各类“无废细胞”278 个。其中，“无废工厂”30 个，“无废机关”70 个，“无废工地”24 个，“无废学校”109 个，“无废农场”4 个，“无废商场”23 个，“无废酒店”18 个，建设数量位居全市前列。同时，广州民营科技园核心区列入全市首批 4 个“无废园区”建设名单之一，正稳步开展建设工作。

白云区还以“‘无废细胞’建设思路与做法探究”为课题，围绕如何推动区级“无废细胞”建设展开调研。该区通过实地走访、座谈交流、电话访谈等方式，直奔镇街、企业

实地开展调查研究，同时选取有代表性的职能部门，充分开展交流访谈，多角度多层次掌握情况、理清问题、明确思路。通过调研，白云区形成加强工作统筹调度、压实镇街属地责任、充分发挥目标考核“指挥棒”作用、加强宣传营造共建共享氛围的工作思路，极大提升了工作效率与成效。

持续“鼓与呼”，营造“无废城市”全民共建氛围

今年3月，白云区利用第二个国际“零废物日”契机开展专项宣传活动，利用微信、微博、电子屏幕各类媒介，大力发动“无废”理念宣传，宣贯人数5.1万人次，积极营造全民参与“无废城市”建设的浓厚氛围。

这几年这样的宣传在白云区一直没有间断。白云区及时总结各领域在“无废城市”建设方面取得的实效，挖掘提炼《白云区引进省内首个大件家具垃圾资源化系统》《白云区首创垃圾分类“云站桶”新模式》等4个典型案例。15篇工作简讯被市采用刊发，其中3篇获生态环境部、省生态环境厅采用。

同时，白云区加强社会面“无废城市”的宣贯，利用世界环境日宣传活动、“无废城市”进校园（进社区）宣传活动等宣传场合，面向镇街、村居、企业、学校、社会大众积极宣贯“无废”理念，倡导绿色生活、绿色消费、绿色出行等理念，提升大众对“无废城市”的感知度与参与度，营造共建共享工作氛围。

接下来，白云区将继续按照市“无废城市”建设提质增效工作要求，进一步提升五大领域固体废物减污降碳协同增效工作水平，持续推动固体废物源头减量、资源化利用和无害化处置，坚持创新、打造亮点，高质量推进“无废细胞”建设，推动城市全面绿色转型。同时，调动社会主体参与“无废城市”建设的积极性，大力宣传“无废”理念，充分发挥“无废细胞”示范引领作用、社会组织桥梁纽带作用和公众监督作用，形成全社会共同参与“无废城市”建设的良好氛围。

（来源：白云融媒）

优化设计促进 PET 饮料瓶回收利用

一、现状

1946 年，英国发表了第一个制备 PET（聚对苯二甲酸乙二醇酯）的专利，上世纪 70 年代美国杜邦公司制成了世界第一个 PET 瓶。与玻璃瓶、铝罐相比，PET 饮料瓶以其质量轻、透明度高、熔点低、耐高温、耐冲击、无毒无味、运输方便和运输价格便宜等特点，广泛应用于饮用水、碳酸类、茶饮类、果蔬汁类、乳类、功能类等饮料容器。从 2014 年到 2021 年，我国 PET 瓶产能从 746 万吨增长至 1270 万吨。随着产能快速增长和大量使用，PET 饮料瓶的回收利用成为全球热切关注的问题之一。

（一）我国回收现状

我国 PET 饮料瓶回收率达 94%，已形成“生活垃圾分类投放点、专项回收箱、环卫工人→可回收物（资源）回收站点→可回收物（资源）中转站→可回收物分拣中心→再生资源处理企业”的完整 PET 饮料瓶回收利用链条。

虽然我国 PET 饮料瓶回收率高，但是，我国受行业产业化程度不高、业内企业规模小散乱、工艺技术较落后、回收 PET 瓶杂质较多等问题的影响，目前主要以降级利用为主，我国目前超过 75% 的 PET 瓶片只能降级生产再生 PET 纤维，而再生 PET 纤维作为混合材料无法再次回收利用，仅实现一

次再生利用。

（二）国内外 PCR 塑料（消费后再生塑料）利用现状
为提高废塑料的回收率和回收品质，欧美等发达国家或地区已加强立法，规定了强制性再生材料含量比例。这些政策促进 PCR 需求快速增长，促进 PCR 的生产与利用。

表 1 部分国家或地区塑料回收相关政策梳理

国家/地区	政策名称	政策内容
欧盟	2022 年 11 月 30 日，欧盟委员会正式发布《包装和包装废弃物法规》，规定了强制性再生材料含量比例。	到 2025 年以 PET 为主要成分的饮料容器中 R-PET 含量不少于 25%，到 2030 年不少于 30%，到 2060 年不低于 65%。
美国	加利福尼亚州通过了美国第一个关于回收塑料瓶含量标准的立法。	自 2021 年 1 月 1 日起，加州所有的“加州赎回价值”塑料饮料容器必须使用至少 15% 的回收材料；到 2030 年，所有塑料瓶都必须由 50% 的回收材料制成。
英国	2020 年 11 月 12 日，英国税务和海关公布了塑料包装税立法草案。	对回收塑料含量低于 30% 的塑料包装每吨征收 200 英镑的税。
澳大利亚	《关于减少特定塑料产品对环境影响的指令》	到 2025 年，所有包装包含 50% 的再生材料，其中塑料包装需含有 20% 的再生材料。
日本	2019 年，日本环境省通过中央环境委员会下属的专家小组，制定了塑料回收战略的最终版。	到 2030 年，塑料容器和包装的再利用率和回收率上升到约 60%，到 2035 年实现包括热回收在内的所有用过的塑料的 100% 有效利用。
中国	2020 年，国家发展改革委、生态环境部联合发文《关于进一步加强塑料污染治理的意见》（发改环资〔2020〕80 号），2021 年国家发展改革委、生态环境部再次联合发文《关于印发“十四五”塑料污染治理行动方案的通知》（发改环资〔2021〕1298 号）。	到 2025 年，在源头减量方面，商品零售、电子商务、外卖、快递、住宿等重点领域不合理使用一次性塑料制品的现象大幅减少，电商快件基本实现不再二次包装，可循环快递包装应用规模达到 1000 万个。塑料垃圾直接填埋量大幅减少；农膜回收率达到 85%，全国地膜残留量实现零增长。禁止生产厚度小于 0.025 毫米的超薄塑料购物袋、厚度小于 0.01 毫米的聚乙烯农用地膜、含塑料微珠日化产品等部分危害环境和人体健康的产品。减少商品过度包装，提高材质均一化程度和产品的易循环、易回收性，方便塑料制品使用后的回收和再利用。

我国从国家、省、市等层面印发了塑料污染治理的文件，但是，没有相关文件提出以 PET 为主要成分的饮料容器中 R-PET（再生 PET，通过回收聚对苯二甲酸乙二醇酯废塑料制成）含量要求，在强制使用 PCR 塑料的政策上落后于欧美等国家。

目前，除了部分国家或地区从国家层面制定 PCR 含量目标，多个知名饮料和食品品牌也订立相关目标，减少原生塑料的用量，增加 PCR 塑料的使用量。据悉，全球多家知名企业签署艾伦麦克阿瑟基金会《印度塑料公约》，到 2025 年，包装中再生塑料的使用量从 4% 增加到 22%；到 2025 年，每年对包装中再生材料的总需求超过 500 万吨。

表 2 部分品牌 PCR 含量比例目标情况

品 牌	2021 年塑料包装中 PCR 组分含量 (%)	同比增长率 (%)	2025 年塑料包装中 PCR 组分含量 (%)
可口可乐	13.6%	2.1%	25%
百事可乐	6.3%	1.3%	25%
Keurig Dr Pepper	11.0%	9%	25%
innocent 果汁	35.3%	2.3%	—
雀巢	4.6%	0.4%	—

全球 PCR 塑料市场必然呈现增长趋势。我国是塑料制品大国，PCR 塑料市场具有巨大的市场空间。“瓶到瓶”技术是指将 PET 瓶加工成食品级 R-PET 粒料，然后重新加工成 PET 瓶。与石油原料制成的 PET 瓶相比，再生 PET 瓶可降低 59% 的二氧化碳排放，减少 76% 能量消耗，既节约资源，又减少

碳排放。“瓶到瓶”的高端利用技术是未来国内外的发展趋势，未来“瓶到瓶”的 R-PET 塑料将有很大的市场空间。

“瓶到瓶”技术对我国 PET 回收利用现在是一项高难度的挑战。实际上，我国的高回收率已基本具备瓶到瓶再生利用的回收基础。但是，由于“瓶到瓶”的 R-PET 塑料需达到食品级要求，为保证纯度稳定，PVC（聚氯乙烯）等杂质的含量就必须稳定控制在 3.0×10^{-5} 以下。因此，本文将从 PET 饮料瓶设计角度，探讨影响 PET 饮料瓶回收利用、可持续发展面临的问题，提出促进 PET 瓶回收利用的建议，从设计角度提高 PET 饮料瓶回收再生品质、减少分选难度、降低回收利用成本，有助于得到高品质、高纯度 PET 饮料瓶片。

二、存在问题

（一）瓶身“轻量化”程度有待提升

近年来国际油价不断上涨，PET 原料价格也一路攀升，以 PET 水瓶为例，瓶身成本占产品总成本的 60%。如何有效利用不可再生的石油资源、减少资源浪费，并保证产业的可持续发展，是国内外的焦点。目前，我国 500ml 的 PET 碳酸饮料瓶的瓶重从 24g—32g 不等，部分 500ml 的 PET 水瓶的质量约 15-20g 左右。部分 PET 饮料瓶瓶身质量较重，瓶壁较厚，我国回收站点的自动化率不高，瓶身不易压扁，不利于回收。

（二）PET 瓶颜色繁多

制造商通常根据外包装、饮料颜色等因素，选择不同颜

色的调色剂，制成颜色繁多的 PET 饮料瓶。虽然回收企业可用分选机将有色瓶子筛选出来，但有色 PET 饮料瓶会影响回收效率，成色较差的只能混合制成品质、档次较低的母粒，降低 PET 瓶片的价值，生产产品应用范围狭窄市场接受度低且价格便宜。高效分选出浅蓝色 PET 饮用水瓶是分选中的难点，分选后的透明 PET 瓶经常夹杂一些淡蓝色的饮用水瓶，由于颜色非常浅，肉眼或设备都难以分出。

（三）回收标志细化程度不够

《包装回收标志》（GB/T18455—2016）和《塑料制品回收标志》（GB/T16288—2008）要求标明塑料制品材料、助剂以及含 PCR 塑料等信息，行业标准《包装容器聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）瓶胚》（BB/T0060-2012）仅要求标明产品名称、生产企业等信息，中国合成树脂协会团体标准《聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）容器包装产品可回收再生设计指南》（T/CSRA16-2022）要求瓶盖、标签须做可回收再生设计或不可回收再生设计。但是，这些标准均未明确要求标明 PET 瓶各部分清洁、回收要求。

因此，我国大部分 PET 饮料瓶都没有细化瓶身清洁、瓶标和瓶盖处理等步骤，也没有标明瓶盖、瓶标是否可回收，应投放至哪类收集容器，导致大部分居民在投放前不清楚应如何清洁、处理 PET 饮料瓶，缺乏强制性标准的指导作用，不利于得到高质量的 PET 饮料瓶片。

（四）瓶标难去除

PET 饮料瓶处理过程中，为确保回收的 PET 饮料瓶片的纯度和高品质，必须将瓶片与标签、瓶盖分离。由于瓶标设计问题，增大了回收的难度和成本。国内 PET 饮料瓶瓶标有 PVC(聚氯乙烯)、PP(聚丙烯)、PE(聚乙烯)和可降解塑料等各种材质，70%的 PET 饮料瓶瓶标是 PVC 材质。PVC 材质的饮料瓶瓶标成本低，透明度、稳定性好，收缩率适中。PVC 的密度约 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ ，PET 的密度约 $1.35\text{--}1.41\text{g}/\text{cm}^3$ ，两者密度相近，PET 饮料瓶的预处理过程有水洗工序，水选时 PVC 会和 PET 一起下沉，无法用简单的浮选进行分选，需人工处理。PVC 的混入不仅会严重影响 PET 瓶片质量，再生过程中还会产生有毒有害含氯物质，产生致癌因素。

另外，PET 饮料瓶瓶标常用的胶粘剂有溶剂型和水溶型两种，其中溶剂型胶黏剂因成本低而被大量使用，但此类胶粘剂大部分含有机试剂，对环境影响大，难以清除，给后端处理造成困扰，需人工处理，增加成本。

(五) 瓶盖

目前 PET 饮料瓶瓶盖的材质大部分为 PE、PP 两种，PE、PP 硬度都比 PET 小，材质越软越适合做瓶盖，PET 瓶密封性越好。而 PE 硬度比 PET、PP 都小，材质更软、价格更低廉、模具更简易，因此应用更广泛，大部分 PET 饮料瓶瓶盖材质为 PE。瓶盖降低了回收瓶片的纯度和回收再生品的品质，因此，PET 饮料瓶处理过程中，需要在破碎前去除瓶盖，增加了回收利用成本。

（六）PET 瓶拉手、铝口、橡胶密封垫

《瓶用聚对苯二甲酸乙二酯（PET）树脂》（GB/T 17931-2018）等标准规定瓶用 PET 树脂应无机械杂质，无带有可见黑斑的粒子。少量 PET 瓶有拉手、铝口、橡胶密封垫等设计，在一定程度上增加了 PET 瓶的回收难度，混合杂质的 PET 瓶会影响分选难度、影响杂质含量。

微量的铝会影响 PET 瓶的透明性，因此，R-PET 中铝含量应低于 5.0×10^{-5} 。部分 PET 瓶子的盖子和塞子有 PVC 衬层或 PVC 密封，PVC 会影响 PET 瓶色泽，因此，PET 回收过程中需要去除 PVC。最有效的 PVC 去除方法是人工分选，人工费用较高。

三、建议

（一）瓶身“轻量化”

减少资源浪费的最有效方式就是 PET 瓶实现“轻量化”。目前，全球多家知名企业正在推进瓶身轻量化的工作。德国克朗斯公司推出了仅 6.6g 的 500mL PET 水瓶，该瓶的顶部选择较小的直径，瓶身下部的壁厚小于 0.1mm，并用氮气稳定避免运输过程瓶身内陷，克朗斯公司和百利盖公司为该瓶联合开发了仅重 1.3g 的瓶口、瓶盖仅重 1.1g，在螺口、瓶盖、材料分布、外形设计和氮气应用等多方面共同作用下，实现了只有 6.6g 的瓶重。百事可乐北美公司推出的 500mL 冰红茶和果汁饮料 PET 瓶比原重量减轻了 20%，从 23.5g 减轻到 18.6g，估计每年可减少大约 2000 万磅的废塑料。法国

西得乐公司推出的 X-LITE Still PET 水瓶，重量仅为 6.5g，日本饮料业将 2L 的 PET 水瓶从 65g 减轻至 36g，KHS 集团推出的 55g 的 1L 容量瓶比原重量减轻了 10g。

通过优化瓶身结构设计、适当减轻瓶坯的重量和减少瓶壁厚度、减少加强筋等，实现外观美观、结构牢固、瓶身轻量“三同步”。“轻量化”意味着减少原材料用量，减轻材料成本，减少了运输油耗，从而降低碳排放，同时便于回收站点人工压缩瓶身，从而减少存储空间、更便于运输。

（二）瓶口“轻量化”

可通过改变瓶口壁厚、直径、高度、螺纹厚度等尺寸实现瓶口“轻量化”，同时需配套更薄、更短、更轻的瓶盖，可口可乐“冰露”PET 水瓶使用了“短瓶口”，克朗斯公司 6.6g 的 500mL PET 水瓶瓶口仅 1.3g，进一步为节约资源做贡献。

（三）连体瓶盖

通过设计连体盖，将有助于更好地回收 PET 饮料瓶，瓶盖连着防盗圈（环），去除瓶盖时方便一起去除防盗圈（环）。目前，许多欧洲 PET 饮料瓶制造商正在加快设计“轻量化”连体瓶盖。据悉，贝里国际与可口可乐公司合作在德国、西班牙和英国等欧洲国家推出 PET 碳酸饮料瓶轻量化连体瓶盖，阿普拉、西得乐等公司也在抓紧开发连体瓶盖。连体瓶盖能减少饮料瓶瓶盖污染环境，更有助于回收，推动可持续发展。

（四）颜色

PET 饮料瓶颜色的多样性是导致回收的 PET 瓶片品质较低的重要因素之一，增加了分选难度，难以得到高品质、高纯度 PET 瓶片。提高 PET 瓶片的价值，减少 PET 瓶颜色是得到食品级 R-PET 的关键。

据悉，为得到更洁净、无色的高品质 PET 瓶片，除了乳制品等光敏产品，日本国内禁止生产有色聚酯瓶，根据颜色分类回收 PET 饮料瓶。为了促进 PET 瓶的高质量循环利用，建议适度参考日本的经验，除果汁、乳制品等容易因光敏或紫外线而变质的产品以外，鼓励饮料和饮料瓶制造商生产无色 PET 饮料瓶。在回收环节，根据无色、茶色、其他有色三种颜色分类投放、收集 PET 饮料瓶。再利用时，人工处理环节将减少，处理费用将降低，R-PET 瓶片质量将提高。

（五）去瓶标化

传统 PET 瓶瓶标会展示配料、成分、生产地、保质期等产品的信息，难去除的瓶标增加了回收的难度。为了减少污染，部分企业简化了产品信息，使用无瓶标的 PET 瓶，减少回收工序，节约回收利用成本，提高瓶身的回收利用率。无瓶标的 PET 瓶有两种形式，一种是商标等产品信息印在瓶身上，例如可口可乐矿泉水通过浮雕的方式展示产品信息，康师傅冰红茶通过激光打印技术在瓶身打印产品信息。这种方式可避免因标签和瓶身材质不同而增加回收难度，有助于更方便、有效地回收。另一种是整体销售形式，例如可口可乐

无瓶标商品、日本雀巢无瓶标咖啡、日本饮料生产商“伊藤园”为例，按整箱售卖、不直接零售，外包装袋或箱体上印有产品信息。

然而，这两种方式目前仍在试水阶段。失去标签后，产品信息被简化、消费者难以分辨真假。第一种方式直接在瓶身打印产品信息，会增加瓶身油墨清除、油墨废水处理工序、增加利用成本，第二种只适合整体销售、不适合零售。

（六）瓶标、回收标志设计

由于去瓶标化仍在试水阶段，暂时无法大范围推广。因此，减少瓶标污染、提高 R-PET 品质的最有效方式就是设计更有利于回收的瓶标和回收标志。日本各地要求投放饮料瓶时要撕掉瓶标、去掉瓶盖、清洁瓶身再投放，以便提高 R-PET 瓶片的品质，减少杂质。参考日本经验，为设计更便利的瓶标、完善 PET 瓶的回收标志，建议设计容易撕开的瓶标、便于回收的标志和处理步骤，标明各部分材质、投放要求等（如图 1、2、3）。

由于国内 70% 的 PET 饮料瓶瓶标是 PVC 材质，难以用简单的浮选进行分选，而且瓶盖的材质大部分是 PE、PP，容易影响再生 PET 瓶片的质量，最好的处理方式是去掉瓶标，建议将瓶标归为其他垃圾，瓶盖根据实际情况可归为可回收物或其他垃圾。图 3 的瓶标设计将有助于更好地指导居民操作，减少分选难度，降低回收利用成本，有助于得到高品质、高纯度 PET 瓶片。

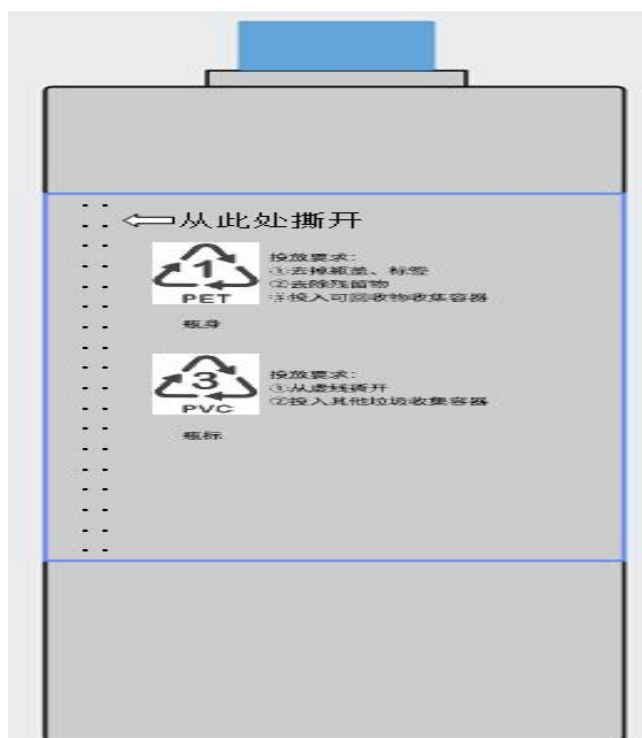
图 1 PET 瓶瓶身回收标志细化图示



图 2 PET 瓶瓶标回收标志细化图示



图 3 PET 瓶瓶标图示



(七) 尽量减少使用非 PET 材质

减少 PET 瓶的拉手、铝口、橡胶密封垫等设计，铝、PVC 等材质制成的部分建议改为使用与瓶体同样的材料，方便循环处理，减轻 PET 瓶的回收难度，降低分选成本，避免微量的铝和 PVC 等杂质影响 R-PET 瓶片的质量。

四、结论

我国“瓶到瓶”的 PET 饮料瓶高端利用还有很长的路要走，应从“轻量化”、连体瓶盖、颜色、瓶标设计、回收标志设计、尽量减少使用非 PET 材质等设计角度，提高高品质的食品级 R-PET，减轻回收难度，降低回收再利用成本。

(来源：广州市城市管理技术研究中心栗颖供稿)

报：范瑞威、张颖、谭斌、徐书同、周涛、肖苏、
谭礼和、何正清、徐加荣

发：局机关各处室、直属各单位

广州市城市管理技术研究中心 2024年7月26日

编审：李湛江 林金明

编辑：罗志红 电话：81073291