

再生塑料颗粒的生产流程与质量控制要点

张帅

1 金达科技股份有限公司, 河北省沧州市, 061001;

2 河北省塑料包装材料工程技术创新中心, 河北省沧州市, 061001;

摘要: 鉴于全球塑料污染状况的日趋严峻以及“双碳”目标的逐步落实, 再生塑料行业面临着前所未有的发展契机。作为塑料循环经济的核心产品, 再生塑料颗粒的生产质量与下游制品的性能及应用安全性紧密相关。本文对再生塑料颗粒自原料回收直至成品入库的整个生产流程, 涵盖预处理、破碎清洗、熔融造粒等关键工序, 进行了系统性的阐述。在这一基础上, 深入剖析各环节质量控制的核心要点, 以期为提升再生塑料颗粒的产品品质、推动行业标准化生产以及增强市场竞争力提供理论参考与实践指导。

关键词: 再生塑料颗粒; 生产流程; 质量控制; 预处理; 熔融造粒; 性能检测

DOI: 10. 69979/3029-2727. 25. 12. 076

引言

塑料凭借其轻便、耐用、成本低廉的特质, 已然成为现代生活里无法或缺的材料。然而, 大量使用过后的塑料废弃物, 若未能获得妥善处置, 便会对环境造成长期污染。在“双碳”目标影响下, 发展循环经济、推进塑料资源再生利用, 已然成为行业可持续发展的必然抉择。作为循环经济关键产品的再生塑料颗粒, 借由物理回收途径, 把废弃塑料转变为可再度利用的原料, 极大降低石油资源消耗与环境污染。因此, 本文将详尽阐释再生塑料颗粒的生产流程与质量控制要点, 以期为行业提供参考。

1 生产流程详述

再生塑料颗粒的生产流程主要包括原料回收、分选、破碎、清洗、干燥、熔融挤出、拉条冷却、切粒和包装入库等环节。每一环节均直接影响最终产品的质量, 需严格把控。

1.1 原料回收与预处理阶段

原料回收与预处理是再生塑料生产的基础环节, 对后续工艺难度及成品质量有着直接的决定性影响。原料来源涵盖两大主要类别, 即消费后废弃物, 诸如矿泉水瓶、包装膜、日化容器等, 以及工业后边角料。注塑、挤出等加工过程所产生的流道料、边角料等, 构成了工业后边角料的来源。因其成分单一、污染程度低且品质相对稳定, 故而成为生产高品质再生料的优先选择^[1]。与之相比, 消费后废弃物来源繁杂, 包含各类包装材料、日用塑料制品等, 常常夹杂着油污、标签、残留内容物

等多种杂质, 这就要求其必须经过更为严格的分选与清洗处理。

预处理中, 分选是核心环节。采用方式一般为人工粗选与机械精细分选相组合。人工分选, 主要在传送带上展开。工人经验丰富, 借由外观、手感等途径, 识别并剔除显著的非塑料杂质, 如金属、玻璃、纸张等, 以及不同种类的塑料制品。这是确保原料初步纯净的关键步骤。精细分选, 借助高科技分选设备, 诸如近红外光谱(NIR)分选技术。借由传感器, 识别不同塑料对近红外光的特征吸收与反射特性, 运用高压气流精准喷吹, 达成PET、HDPE、PP、PS等塑料的高纯度分选, 分选精度可达98%以上。针对深色塑料或者NIR难以识别的材料, 可运用静电分选技术, 借助不同塑料摩擦生成的静电差异予以分离。而沉浮分选, 基于密度差异原理, 在水或特定密度的溶液中实现分离。

1.2 破碎与清洗阶段

破碎与清洗是再生塑料生产中的关键环节, 旨在将经分选后的塑料制品, 破碎成均匀碎片, 并对污染物予以彻底去除。关于破碎过程, 主要借助撕碎机或破碎机来完成, 塑料制品被粉碎成尺寸一致的片状碎片, 通常以“薄片”或“flake”称之。同时, 破碎机的选型意义重大, 应当依据原料特性, 对剪切式、冲击式或研磨式破碎机作出选择。筛网孔径的配置, 依照最终对碎片大小的要求进行, 通常控制于8 - 15mm区间。

污染物, 诸如标签、胶水、泥沙、油脂等, 借助多级逆流清洗系统在清洗环节逐步去除。预清洗/粗洗阶

段,通过简单的浸泡与搅拌操作,主要去除大部分附着不牢固的杂质。热碱水清洗阶段,以加热的氢氧化钠溶液(浓度处于 1 - 3%,温度维持在 60 - 80℃),油污与标签胶得以有效分解。作为核心环节的摩擦清洗,凭借高速旋转的摩擦盘促使碎片相互搓洗,在水流作用下,顽固污染物实现剥离,通常所需清洗时间为 15 - 30 分钟。漂洗阶段,用清水进行 2 - 3 次的逆流冲洗,化学残留与污垢彻底清除,直至水质呈现清澈状态^[2]。

1.3 干燥与熔融造粒阶段

干燥与熔融造粒是将洁净塑料碎片转化为均匀颗粒的核心环节,直接决定最终产品的物理性能和外观质量。清洗后的碎片表面,附着有大量水分,有效干燥处理不可或缺。机械脱水借助离心脱水机,利用高速旋转产生的离心力,去除大部分表面水分,能使含水量降至 8 - 10%;之后,热力干燥通过热风干燥系统或沸腾床干燥器,利用 100 - 120℃热空气的对流换热,彻底蒸发残留水分,将最终水分含量控制在 0.5%以下。熔融挤出过程中,若水分含量过高,会引发水解降解,致使分子链断裂,严重劣化产品性能,表现为熔体强度下降、气泡产生以及力学性能恶化。

生产流程里,熔融挤出占据类似“心脏”般关键地位。出于产品质量要求方面的考量,干燥完毕的碎片借由螺杆挤出机转化为粘流态。具体可选择单螺杆挤出机或双螺杆挤出机。其中,双螺杆挤出机凭借其在混炼、排气以及自清洁方面的卓越能力,于高质量再生料生产领域成为首选设备。其通过螺杆间的啮合作用,引发强烈的剪切与混合效应,让添加剂和色母粒能够均匀分布;同时,配备了多个温控区,达成对熔融温度的精准把控(一般而言,PE/PP 材料的温度范围在 180-230℃,PET 材料则为 260-280℃);熔体则借助自动换网器完成过滤操作,滤网精度可达 120 - 200 目,微观杂质及碳化颗粒被有效拦截^[3]。随后,纯净的熔融塑料经多孔模具挤出呈条状,在水槽中冷却固化(水温通常控制在 20-40℃),最终由切料机切割为大小均匀的颗粒(通常直径为 3-4mm,长度为 2-3mm)。

1.4 后处理与包装

后处理作为确保产品质量一致性的最终环节,主要涵盖两个步骤,即风干与筛分。切好的颗粒表面或存少量残余水分,需借旋风分离器或振动流化床干燥器完成最终风干,以使产品含水率稳定维持于 0.5%以下。筛分运用多层振动筛,基于颗粒尺寸分级:上层筛网用于去

除过大颗粒与连粒;中层收集合格产品;下层筛除粉末及细小颗粒。

成品包装采用内衬塑料薄膜的防潮编织袋或吨袋进行密封包装,防止吸湿和污染。包装材料需具有良好的防潮性和强度,确保运输过程中不会破损。每个包装单元都应清晰标识产品型号、批次、重量、生产日期等信息,建立完善的可追溯体系。

2 质量控制要点

质量控制必须贯彻“预防为主,全过程控制”的理念,从“人、机、料、法、环”五大要素入手。

2.1 原料控制

原料质量,作为质量控制初始关卡,对后续工艺难度与成品性能起决定性作用。多层次保障体系的构建为原料控制的必要环节。首先,制定严格原料采购标准体系,依目标产品质量要求,明确原料类别、来源、污染程度等指标,工业后边角料成分单一、污染少应优先选取。同时,需建立合格供应商评估与准入制度,对供应商生产能力、质量管理体系、环境合规性全面评估并定期复审。其次,完善原料入厂检验制度,每批进厂原料都要代表性抽样。借燃烧法观察火焰颜色与气味初鉴塑料种类,凭密度法用不同密度溶液沉浮测试再确认。借快速水分测定仪测含水率。经目视检查与称重法评杂质含量。此类快速检测法可短期内对原料质量初判,为后续工艺参数调整提供依据^[4]。最后,建立原料追溯系统,记录每批原料来源、检测结果及使用情况,确保问题出现能快速溯源。且应据原料实际情况分类存放与标识管理,防止不同品质原料混杂,为后续生产过程稳定性奠基。

2.2 预处理与清洗过程控制

预处理与清洗过程是确保再生塑料“基因”纯正的关键环节,其控制水平对最终产品纯净度及品质上限有直接决定作用。其一,在分选环节,应当建立设备维护与校准标准化程序,保证分选纯度。针对近红外(NIR)分选设备,需定期以标准样品校准,光学传感器灵敏度及气动喷吹装置准确性的检查要做到,使分选准确率大于 98%。同时,分选工艺参数优化也要进行,依据原料种类与污染程度,调整传送带速度、光源强度及喷吹压力,最大限度提升分选效率与质量。其二,在清洗环节,要建立多参数监控体系,各清洗阶段水质 pH 值、水温、碱液浓度、清洗时间等关键参数需实时监测并记录。水

温一般控制在 60–80℃，保证清洗效果同时，避免能源浪费；碱液浓度维持于适当范围，定期检测并补充以保证去污效果。同时，要建立清洗效果评价体系，清洗后碎片清洁度、残留油脂含量等指标定期取样检测，杂质含量通过离心沉淀法检测，油脂残留量用溶剂萃取法测定。金属剔除，作为保护设备与保证产品安全的重要措施，要在破碎机前后关键位置，安装高灵敏度金属分离器或强磁力磁选机，并定期检查其工作状态与灵敏度，记录金属杂质检测，防止金属杂质进入后续工序而致使昂贵生产设备损坏。

2.3 熔融造粒过程控制

熔融造粒是再生塑料生产的核心环节，同时也是质量控制最为复杂精细之处。首要关键为温度控制，须依据不同塑料种类热力学特性设定精确温控方案。挤出机一般划分 4 – 6 个加热区，每个区域温度需独立精准控制，温差应把控在±2℃以内。温度过低致熔体塑化不佳、流动性差且过滤困难；温度过高引发聚合物分子链断裂，出现热氧化降解，造成产品黄变与力学性能下降。螺杆转速与喂料速度匹配也同样重要，需按物料特性与熔体状态优化调整，使熔体压力稳定维持在工艺要求范围。螺杆转速与喂料速度不匹配，将导致“饥饿喂料”或过度填充，引起熔体压力波动、产量不稳定，影响产品质量一致性。其次，保证产品纯净度的关键在于过滤系统管理，应据原料洁净度制定严格换网周期，或投资采用连续换网器实现不停机生产。可借助监控熔体压力变化判断滤网堵塞状况，压力超设定上限时及时更换滤网。另外，真空脱挥系统稳定运行对去除挥发物、降低产品异味起决定性作用，必须确保排气段真空泵稳定工作，维持较高真空度（通常要求达 - 0.08MPa 以上），有效抽出熔体中水分、残留单体及其他小分子挥发物。所有这些工艺参数均需详细记录并实现可追溯，为质量分析与工艺优化提供数据支撑。

2.4 成品质量检测

作为验证整个生产过程有效性的最终环节，成品质量检测要求构建全面且科学的检测体系及方法。就物理性能检测而言，其主要涵盖熔融指数（MFR/MVR）以及力学性能测试。表征材料流动性的关键指标——熔融指数，借助测定特定温度与负荷下 10 分钟内经由标准口模的熔体质量，以此反映分子量大小及其分布状况，进

而判断材料对于加工的适用性。力学性能测试，包括拉伸强度、冲击强度以及断裂伸长率等的测定，采用万能材料试验机与冲击试验机，依照 ASTM 或 ISO 标准方法实施，目的在于评估材料的基本机械性能能否契合下游应用需求。化学与观感性能检测方面，涉及灰分、色差以及气味等内容。灰分含量通过高温灼烧称重法予以测定，其用于衡量无机杂质（诸如填料、粉尘、滤网残留等）的含量，是评价产品纯净度的核心指标；色差借助分光测色仪与标准样品对比，以量化颜色的一致性，确保产品外观质量的稳定性；气味评估由经过专门培训的嗅辨师小组或采用电子鼻设备执行，按照标准方法对颗粒加热后产生的气味予以评级，确保无异味或者异味等级符合客户要求^[5]。表观质量检查包括颗粒外观以及水分含量检测，通过目视检查颗粒是否呈现均匀、光滑、无气泡、无黑点的状态；利用快速水分测定仪确保成品颗粒含水率极低（通常要求<0.5%）。实验室应配备相应的检测设备，并建立完善的检测规程。所有检测结果均需详细记录并形成质量报告，此报告一方面为产品放行提供依据，另一方面为生产过程的改进提供反馈。

3 结语

综上，再生塑料颗粒的生产是实现塑料资源循环利用的关键环节，其技术内涵丰富，涉及多环节精细操作。通过优化生产流程、加强质量控制，可生产出高性能、高纯度的再生塑料颗粒，助力塑料产业绿色转型。未来，随着化学回收等新技术的应用，再生塑料质量将进一步提升，为可持续发展注入新动力。

参考文献

- [1] 张颖. 进口再生塑料颗粒污染特征及其人体健康风险评估[D]. 沈阳建筑大学, 2022.
- [2] 占彬, 许强, 武本成, 等. 废塑料再生颗粒液化特性研究[J]. 石油炼制与化工, 2025(4).
- [3] 孙泽田. 废弃塑料颗粒掺合料混凝土力学性能试验研究[D]. 中国海洋大学[2025-09-19].
- [4] 李永忠. 废旧塑料再生颗粒[J]. 技术与市场(06): 23–23[2025-09-19]. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8554.2004.06.026.
- [5] 张书敏, 江龙发, 周丽萍, 等. 再生塑料颗粒固体废物的典型特征及其识别技术[J]. 中国检验检疫, 2021(9): 70–76.