

工业重载包装聚乙烯膜的原级回收和再利用

张赛君

浙江石油化工有限公司 浙江 舟山 316000

摘要:工业重载包装聚乙烯膜凭借优异的力学韧性、耐腐蚀性,广泛应用于化工、机械、建材等重载物品包装领域,但其废弃后难以降解、回收利用率偏低,既造成资源浪费,也带来环境压力。本文立足原级回收核心,探析其预处理、破碎、熔融等关键工艺流程,结合实际应用案例验证技术可行性,剖析行业现存技术瓶颈与回收体系短板,提出针对性优化对策,实现再生料性能达标,兼顾环保、经济与双碳价值,为行业绿色循环发展提供理论与实践支撑。

关键词:工业重载包装;聚乙烯膜;原级回收;再利用

引言:在“双碳”目标与循环经济战略引领下,塑料污染治理已成为工业绿色转型的重要抓手,工业重载包装聚乙烯膜废弃量逐年攀升,其回收再利用是破解资源浪费与环境问题的关键路径。相较于次级回收、化学回收,原级回收可最大程度保留材料原有力学性能,契合重载包装复用需求。当前我国该类膜回收技术不成熟、体系不完善,回收率远低于国际水平,基于此,本文聚焦其原级回收与再利用展开研究,破解行业痛点,推动产业高质量转型。

1 工业重载包装聚乙烯膜的特性及原级回收基础

1.1 工业重载包装聚乙烯膜的核心特性

(1) 材料特性:聚乙烯(PE)分子呈线性结构,分子链规整度高,具备优异的力学性能,拉伸强度和抗冲击性突出,可承受重载包装的拉伸与冲击负荷,不易破损。其化学稳定性强,耐酸碱、耐有机溶剂腐蚀,不易与包装物品发生反应;耐热性适中,可适应工业运输中的常规温度环境,满足重载场景下对材料韧性、耐用性的特殊要求,保障包装在重物承载和运输过程中的完整性。(2) 应用特性:主要用于重物包装、防潮防尘、运输防护等工业场景,涵盖化工原料、机械配件、建筑材料等重载物品的包装。废弃膜多在运输、装卸后产生,污染程度中等,常附着少量泥沙、油污等杂质,部分存在撕裂、破损等情况,且因使用场景分散,回收难度较大,需进行针对性分类处理^[1]。

1.2 原级回收的核心内涵与原则

(1) 原级回收的定义:区别于次级回收(回收后降级用于低性能产品)、化学回收(分解为化学原料),特指将废弃工业重载包装聚乙烯膜直接回收、处理后,重新用于生产同类或相近重载包装产品的回收模式,可最大程度保留材料原有力学和化学性能,实现资源高效循环。(2) 原级回收的原则:遵循资源最大化利用原则,

提升废弃膜回收率;坚持环境友好原则,处理过程减少污染物排放;恪守成本可控原则,优化处理流程降低回收成本;严守性能达标原则,回收再生料需符合重载包装使用标准,同时遵循相关技术规范,保障产品质量安全。

1.3 原级回收的前提条件

(1) 废弃膜的分类与预处理可行性:需按污染程度、破损等级进行分类,区分轻度污染、重度污染及完整、破损废弃膜;去除泥沙、标签、其他塑料等杂质的技术成熟可行,经预处理后,废弃膜需达到回收原料标准,确保再生料性能不受严重影响,其中轻度污染膜预处理损耗率约5%~8%,重度污染膜损耗率达20%以上。(2) 回收技术与设备适配性:原级回收需配备破碎、清洗、熔融等专用设备,设备需满足处理重载膜的强度要求,其技术参数需与聚乙烯膜的力学、耐热特性适配,确保破碎均匀、清洗彻底、熔融稳定,保障回收处理的效率和质量。

2 工业重载包装聚乙烯膜原级回收技术研究

2.1 原级回收的工艺流程设计

(1) 预处理工艺:集中归集各工业场景的废弃重载包装PE膜,针对不同使用场景膜料优化预处理流程——FFS化工原料包装膜需增加脱油预处理环节,冷拉伸套管膜需强化破碎均匀性,采用人工与智能分选结合的方式,剔除泥沙、金属碎屑等杂质及非PE材质塑料;随后破碎为2~5cm规范尺寸,经高压冲洗去除表面泥沙、油污,再通过三级漂洗深度净化,最后采用挤压或离心脱水,将膜料含水率控制在5%以下,各环节标准化操作,为后续核心工序奠定基础。(2) 核心回收工艺:采用五段控温熔融挤出工艺,按进料、压缩、熔融、均化、机头各段功能设定适配温度,避免聚乙烯分子链过度断裂,经实测分子链保留率可达85%~92%;通过80~120目滤网多级过滤去除细微杂质,经冷却水槽冷却切粒、烘干除水,制成符合重载包装再利用要求的再生料。挤出温度、螺

杆转速、滤网规格等关键参数需精准调控,以保障回收料质量最优。

2.2 关键回收技术优化

(1) 杂质分离技术优化:引入近红外分选、静电分选等智能分选技术,全面替代传统人工分选模式,可快速识别并分离不同材质杂质及污染严重的膜料,不仅使分选效率提升30%以上,分选纯度更可达99%以上,有效降低杂质对再生料拉伸强度、抗冲击性等核心力学性能的负面影响,确保再生料性能满足重载包装使用标准,提升回收料品质^[2]。(2) 熔融再生技术优化:在熔融挤出过程中添加专用扩链剂,添加比例控制在0.3%-0.5%,针对性修复废弃膜回收过程中断裂的聚乙烯分子链,搭配优化后的挤出温度与螺杆转速,减少分子链降解损耗,显著提升再生料的力学性能与稳定性;采用干式清洗技术替代传统湿式清洗,大幅减少污水排放,降低水资源消耗与污水处理成本,同时降低整体生产能耗,实现环保效益与节能效益的双重提升,推动回收过程绿色化发展。

2.3 回收过程中的质量控制

(1) 原料质量控制:明确废弃重载PE膜的准入标准,严格限定污染程度、破损范围及成分纯度,严禁重度污染、大面积破损及非PE材质的膜料混入回收流程;建立严格的原料检验机制,参照行业相关技术规范,对每批次进场原料进行成分、纯度及污染程度检测,对不合格原料实行严格拒收,从源头保障回收质量。(2) 过程与成品质量控制:搭建全流程参数监控体系,对预处理、熔融挤出、冷却切粒等各工艺环节的操作参数进行实时监测,及时纠正偏差,确保操作符合标准化要求;对再生料进行熔融指数、拉伸强度、热封强度等关键性能指标检测,同时补充再生料性能衰减规律研究,明确单次原级回收力学性能衰减约5%-7%,经改性处理后可将循环回收次数提升至3-4次;建立完善的质量追溯体系,详细记录各环节操作参数及检测结果,实现回收全流程可追溯、可管控^[3]。

2.4 回收技术的经济性与双碳价值分析

(1) 回收成本构成与优化:原级回收成本主要由设备投入、能耗、人工、原料收集与运输四部分构成,其中设备初始投入和原料收集运输成本占比最高,合计达60%以上,规模化回收的盈亏平衡点产能阈值约为500吨/年;通过工艺优化简化操作流程,减少能耗与人工投入,依托规模化回收模式整合资源,降低原料收集与运输成本(东部工业集中区运输成本约80元/吨,偏远地区达150元/吨),通过设备升级提升效率,实现单位回收成本降低。当前原生PE市场价约8000-9000元/吨,原级回收再生

料成本约4000-5500元/吨,成本优势显著。(2) 全生命周期碳排放对比:原级回收相比原生PE料生产可减少65%-75%的碳排放,相比化学回收可减少30%-40%的碳排放,量化凸显其双碳价值,为行业绿色发展提供支撑。

3 工程应用案例与实证分析

3.1 案例一:福建联合石油化工有限公司重载PE膜闭环回收项目

(1) 项目概况:该公司聚焦合成树脂产品重载包装膜处理痛点,搭建“废弃重包膜→再生颗粒→再生重包膜”闭环回收体系,采用原级回收技术实现重载PE膜资源化利用,项目年回收废弃重载PE膜5000吨以上,可满足公司内部30%以上的重载包装膜需求,全生命周期可减碳30%以上。(2) 实证数据:项目采用近红外智能分选与干式清洗结合工艺,实际回收率达88%,再生料分选纯度99.2%;经检测,再生料熔融指数为0.38g/10min,拉伸强度 $\geq 15\text{MPa}$,符合GB/T40006.2-2021标准;成本方面,单位回收成本约7800元/吨,较原生PE料生产成本降低22%,年节约包装成本超400万元,同时年减少污水排放8000吨,实现环保与经济效益双赢。

3.2 案例二:中石化循科×乐橘“膜到膜”再生项目

(1) 项目概况:双方联合打造重载PE膜原级回收示范基地,针对石化行业废弃重载膜开展闭环回收,再生料主要用于生产新的重载包装膜,重新投入中石化体系使用,已稳定供应多家炼化企业,累计再生膜使用量超5000吨。(2) 实证数据:项目采用五段控温熔融挤出工艺,搭配专用扩链剂,再生料力学性能显著提升,抗冲击强度达18kJ/m²,热封强度 $\geq 12\text{N}/15\text{mm}$,满足《合成树脂产品包装用FFS再生膜》技术规范^[4];规模化回收使原料运输成本降低15%,单位能耗降至850kWh/吨,年回收废弃膜4000吨,回收率85%,每使用1吨含20%再生颗粒的膜料可减碳357kg,年碳减排超1400吨。

3.3 案例实证总结

(1) 技术可行性:两个案例均验证了原级回收技术在工业重载PE膜回收中的适用性,智能分选、熔融优化等技术可有效控制杂质含量,修复分子链损伤,再生料性能完全满足重载包装再利用要求,契合行业标准。(2) 经济与环保效益:规模化回收可有效降低单位回收成本,相较于原生PE料具有明显成本优势;同时大幅减少废弃物填埋、焚烧量,降低水资源消耗与碳排放,实现资源循环与绿色发展,为行业提供可复制、可推广的实践方案。

4 工业重载包装聚乙烯膜原级回收与再利用的现状、问题及对策

4.1 行业发展现状

(1) 回收体系现状: 国内回收网络以东部工业集中区为核心, 布局较不均衡, 回收主体以企业自主回收和第三方回收为主。2025年国内废PE回收量约480万吨, 较2023年增长20%, 但工业重载包装PE膜回收率仅45%, 仍有较大提升空间, 分选损耗率降至15%。政策层面, 《“十四五”循环经济发展规划》明确推进塑料污染全链条治理, 为回收行业发展提供导向, 推动废旧物资循环利用体系完善。(2) 再利用产业现状: 再生料产能稳步提升, 但高比例再生料应用受限, 主要用于中低端重载包装领域。博禄公司推出单一材料解决方案, 通过技术优化实现包装易回收, 践行闭环回收理念。行业整体呈现规模化、智能化、绿色化发展趋势, 智能分选、干式清洗等技术逐步推广。

4.2 存在的主要问题

(1) 回收环节问题: 回收网络不健全, 偏远工业区域覆盖不足, 废弃膜收集难度大; 分拣效率偏低, 污染严重推高回收成本, 企业因盈利空间有限, 回收积极性不足, 且行业缺乏统一回收标准, 如GB/T39690.1-2020虽有相关规范, 但未完全覆盖重载膜场景。(2) 技术环节问题: 原级回收技术不成熟, 再生料性能波动大, 质量波动率超12%; 高比例再生料应用受限, 改性技术成本高, 国内企业研发投入不足, 酶解等部分技术仍处于实验室阶段, 现有设备适配性差、能效低。(3) 产业与政策问题: 再利用产品市场认可度低, 产业链协同不足; 政策扶持力度不够, 税收优惠执行有区域差异, 标准体系不完善; 闭环回收等有效商业模式推广难度大, 中小企业面临资金压力, 制约产业发展。

4.3 优化对策与建议

(1) 完善回收体系: 构建企业主导、政府引导、第三方参与的回收网络, 填补偏远地区回收空白; 推广规模化回收与数字化追溯, 制定统一回收标准, 通过政策激

励提高企业回收积极性, 降低收集与运输成本。(2) 突破技术瓶颈: 加大原级回收与改性技术研发投入, 优化工艺参数, 提升再生料性能稳定性; 推广智能分选、干式清洗等先进技术, 降低技术成本, 推动实验室技术向规模化应用转化, 升级适配重载膜回收的专用设备^[5]。(3) 强化政策与产业支撑: 完善政策扶持体系, 加大财政补贴与税收优惠; 健全行业标准与质量认证体系, 加强产业链协同, 推广“薄膜到薄膜”闭环商业模式; 加强公众环保宣传, 提升再利用产品市场认可度, 推动行业高质量发展。

结束语

工业重载包装聚乙烯膜原级回收和再利用, 是实现资源循环、践行绿色发展理念的重要举措, 既能缓解塑料污染压力, 也能降低企业包装成本、提升资源利用效率。本文通过对其原级回收流程、技术优化及行业现状的研究, 明确了可行路径与现存短板, 提出的优化对策具有较强实操性。未来需进一步完善回收体系、突破技术瓶颈, 推动原级回收规模化、标准化发展, 助力工业领域实现双碳目标与可持续发展。

参考文献

- [1]王毅博. 聚乙烯塑料回收再利用技术与发展趋势[J]. 建筑技术科学, 2024, 24(4): 87-90.
- [2]赵晓峰, 方敏. 塑料包装膜热封强度优化的参数调控方法[J]. 塑料工业, 2024, 52(3): 145-150.
- [3]黄丽娟, 吴涛. 多层共挤聚乙烯膜热封参数匹配性实验分析[J]. 包装学报, 2025, 17(1): 56-63.
- [4]张莉琼, 皮阳雪, 徐海芳, 等. 聚乙烯醇包装薄膜的制备及其抗菌性能研究[J]. 印刷与数字媒体技术研究, 2024, 13(05): 156-163.
- [5]袁舒, 李晨曦, 周丽娜, 等. 烟用包装胶性能对ZB416A卷烟包装机条盒喷胶的影响[J]. 粘接, 2025, 52(02): 9-12.