

# 聚酯废料循环利用技术的开发与实践

胡海红<sup>1</sup> 田 猛<sup>2</sup>

1. 新疆美克化工股份有限公司 新疆 库尔勒 841000

2. 新疆库尔勒中泰石化有限责任公司 新疆 库尔勒 841000

**摘要:** 随着聚酯产业的蓬勃发展, 聚酯废料产量持续增加, 给生态环境带来沉重负担。聚酯废料循环利用技术的研发与实践对缓解资源紧张、减轻环境污染、推动聚酯产业可持续发展意义重大。本文深入剖析聚酯废料循环利用的重要性, 阐述当前主要的技术开发路径与实践应用案例, 同时指出面临的问题与挑战, 并提出针对性对策建议, 旨在为聚酯废料循环利用技术的进一步发展提供有益参考。

**关键词:** 聚酯废料; 循环利用技术; 开发; 实践

## 1 引言

聚酯材料, 以聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 为代表, 因其出色的性能, 如高强度、良好的透明性、化学稳定性以及可加工性等, 在纺织、包装、电子电器、建筑等众多领域得到广泛应用。近年来, 全球聚酯产量不断攀升, 聚酯废料的产生量也随之急剧增加。这些废料若得不到妥善处理, 不仅会造成资源的极大浪费, 还会对土壤、水源和空气等环境要素造成严重污染。因此, 开发高效的聚酯废料循环利用技术, 实现聚酯废料的高效回收与再利用, 已成为当前聚酯产业和环境领域亟待解决的关键问题。

## 2 聚酯废料循环利用的重要性

### 2.1 缓解资源短缺压力

聚酯的生产主要依赖石油等不可再生资源。随着全球石油资源的日益枯竭, 聚酯产业的原料供应面临严峻挑战。聚酯废料中富含大量聚酯聚合物, 通过循环利用技术将其重新转化为可用原料, 可减少对原生石油资源的依赖, 实现资源循环利用, 缓解资源短缺压力, 保障聚酯产业可持续发展。

### 2.2 减少环境污染

聚酯废料在自然环境中难以降解, 随意丢弃或填埋会长期占据土地资源, 且其中的有害物质可能渗入土壤和地下水, 破坏生态环境。焚烧聚酯废料会产生大量有害气体, 如二噁英等, 威胁空气质量和人体健康<sup>[1]</sup>。通过循环利用技术将聚酯废料转化为有价值产品, 可减少废料排放, 降低环境污染, 保护生态平衡。

### 2.3 推动聚酯产业绿色发展

在全球倡导绿色发展、可持续发展的背景下, 聚酯产业面临转型升级压力。开发和应用聚酯废料循环利用技术, 不仅能降低企业生产成本, 提高资源利用效率,

还能提升企业社会形象和市场竞争力。同时, 有助于推动整个聚酯产业向绿色、低碳、循环方向发展, 实现经济效益与环境效益的双赢。

## 3 聚酯废料循环利用技术开发方向

### 3.1 物理回收技术

物理回收技术主要通过机械方法对聚酯废料进行分类、清洗、破碎、熔融等处理, 将其重新加工成聚酯颗粒或纤维等产品。该技术具有工艺简单、成本较低、对环境影响小等优点, 是目前应用较为广泛的聚酯废料回收方法。

(1) 分类与预处理: 聚酯废料来源广泛、成分复杂, 包含不同颜色、不同品质的聚酯制品, 需先进行分类和预处理。通过人工或自动分拣设备, 按颜色、材质等分类, 去除杂质和非聚酯成分。然后对分类后的废料进行清洗, 去除表面油污、灰尘等污染物, 保证后续加工质量。

(2) 破碎与熔融: 预处理后的聚酯废料被送入破碎机破碎成一定粒度的碎片, 再送入熔融设备, 在高温下熔融成聚酯熔体。熔融过程中需严格控制温度、压力等工艺参数, 避免聚酯降解和性能下降。

(3) 造粒与再加工: 熔融后的聚酯熔体通过挤出机等设备造粒, 制成聚酯颗粒。这些颗粒可根据需求进一步加工成聚酯纤维、聚酯薄膜、聚酯瓶等产品。物理回收技术虽具诸多优点, 但也存在局限性, 如回收产品质量相对较低, 难以满足对性能要求较高的应用领域; 多次物理回收后, 聚酯分子链会逐渐缩短, 导致产品性能进一步下降。

### 3.2 化学回收技术

化学回收技术通过化学反应将聚酯废料分解为单体或低聚物, 再将这些单体或低聚物重新聚合生成新的聚酯材料。与物理回收技术相比, 化学回收技术可得到性

能与原生聚酯相近的再生聚酯产品，具有更高附加值和应用前景。

(1) 水解法：利用水在高温高压或催化剂作用下将聚酯分解为对苯二甲酸（TPA）和乙二醇（EG）等单体。根据反应条件不同，可分为酸性水解、碱性水解和中性水解。酸性水解通常在浓硫酸等酸性催化剂作用下进行，反应速度快，但设备腐蚀严重，且后续需复杂酸碱中和和废水处理过程<sup>[2]</sup>。碱性水解一般在氢氧化钠等碱性催化剂作用下进行，反应条件相对温和，但会产生大量含盐废水。中性水解无需添加额外酸碱催化剂，具有环保优势，但反应速度慢，对反应条件要求高。

(2) 醇解法：利用醇类（如甲醇、乙醇等）与聚酯发生酯交换反应，将其分解为对苯二甲酸二甲酯（DMT）或对苯二甲酸二乙酯（DET）和乙二醇。醇解法具有反应条件温和、产物纯度高优点，且可通过控制反应条件得到不同组成的产物。然而，醇解过程需使用大量醇类溶剂，增加生产成本，且溶剂的回收和再利用也是问题。

(3) 氨解法：利用氨气或胺类化合物与聚酯反应，将其分解为对苯二甲酰胺等产物。氨解法可得到一些具有特殊性能的产物，用于合成高性能的聚酰胺材料等。但氨解法反应条件苛刻，对设备要求高，且产物分离和提纯难度大，目前尚处于研究和开发阶段。

### 3.3 生物回收技术

生物回收技术利用微生物或酶等生物催化剂将聚酯废料分解为小分子物质，实现聚酯的循环利用。该技术具有环境友好、能耗低等优点，是一种具有潜力的绿色回收技术。

(1) 微生物降解：某些微生物能分泌特定酶，作用于聚酯的酯键，将其逐步分解为小分子的有机酸和醇类。目前，已发现一些能降解聚酯的微生物，如假单胞菌、芽孢杆菌等。但微生物降解聚酯速度慢，对环境条件（如温度、pH值、氧气含量等）要求严格，且微生物的筛选和培养过程复杂，限制了其大规模应用。

(2) 酶催化降解：利用纯化的酶制剂对聚酯进行降解。与微生物降解相比，酶催化降解具有反应条件温和、降解效率高、产物选择性好等优点。研究人员通过对酶的基因工程改造，不断提高酶的活性和稳定性，以适应聚酯废料降解需求。但酶制剂成本高，且在工业应用中还需解决酶的固定化、回收和再利用等问题。

## 4 聚酯废料循环利用技术实践应用案例

### 4.1 物理回收技术在纺织领域的应用——浙江佳人新材料有限公司

浙江佳人新材料有限公司是全球最大的化学法循环再生聚酯企业之一，在物理回收技术应用于纺织领域也有出色实践。该公司构建了完善的废旧纺织品回收体系，与众多服装品牌、零售商等合作，回收废旧聚酯纺织品。回收的废旧聚酯纺织品进入工厂后，先经过严格的分类，根据颜色、材质、破损程度等进行区分。然后进行清洗，采用先进的清洗设备和环保型清洗剂，去除衣物上的污渍、油渍等污染物，同时最大程度减少对环境的影响。清洗后的纺织品被送入破碎机，破碎成一定粒度的碎片。接着，这些碎片进入熔融设备，在精确控制的温度和压力条件下熔融成聚酯熔体。熔体通过挤出机造粒，制成高品质的再生聚酯颗粒。这些颗粒经过纺丝工艺，重新纺制成聚酯纤维。佳人新材料生产的再生聚酯纤维品质优良，可广泛应用于高端服装、家纺等领域。例如，其与一些知名运动品牌合作，将再生聚酯纤维用于生产运动服装，不仅满足了服装对性能的要求，还体现了品牌的环保理念。通过这种物理回收模式，佳人新材料实现了废旧聚酯纺织品的高效循环利用，每年可处理大量废旧纺织品，减少了资源浪费和环境污染。

### 4.2 化学回收技术在包装领域的应用——法国Carbios公司

法国Carbios公司是全球领先的生物酶催化聚酯化学回收技术企业。该公司专注于利用酶催化技术将废弃聚酯瓶等聚酯包装材料转化为高质量的再生聚酯原料。Carbios公司从各地收集废弃聚酯瓶，先进行预处理，去除瓶盖、标签等非聚酯成分，并将瓶子破碎成小块。然后，将这些破碎后的聚酯块与特制的酶制剂混合，在特定的反应条件下进行酶催化降解反应。酶能够精准地作用于聚酯的酯键，将其分解为对苯二甲酸（TPA）和乙二醇（EG）等单体。经过一系列的分离和提纯工艺，得到高纯度的TPA和EG。这些单体可以重新用于合成新的聚酯材料，生产出的再生聚酯性能与原生聚酯几乎无异。Carbios公司已与多家国际知名企业合作，将这种化学回收技术应用于大规模生产。例如，与欧莱雅集团合作，利用回收的聚酯瓶生产化妆品包装瓶，实现了包装材料的闭环循环。这种化学回收方式不仅提高了聚酯废料的回收价值，还减少了对原生石油资源的依赖，为包装行业的可持续发展提供了新的解决方案。

### 4.3 生物回收技术在环保领域的研究探索——日本东丽公司

日本东丽公司在生物回收技术领域进行了深入研究和实践。东丽公司致力于开发能够高效降解聚酯的微生物和酶技术，以解决聚酯废料的环境污染问题。东丽公

司的研究团队从自然环境中筛选出具有聚酯降解能力的微生物菌株,并通过基因工程技术对这些微生物进行改造,提高其降解效率和稳定性。同时,对微生物分泌的降解酶进行深入研究,了解其作用机制和催化特性,进一步优化酶的性能。在实验阶段,东丽公司利用这些经过改造的微生物和酶对不同类型的聚酯废料进行降解实验。结果表明,这些生物催化剂能够在较温和的条件下有效降解聚酯,将其分解为小分子的有机物。虽然目前该技术还处于实验室研究向工业化应用过渡的阶段,但东丽公司已经取得了一些重要的研究成果。例如,成功开发出一种新型的聚酯降解酶,在特定条件下对聚酯的降解效率比传统酶提高了数倍。此外,东丽公司还在探索将生物回收技术与其他处理技术相结合,以提高聚酯废料的综合处理效果。这种对生物回收技术的研究和探索,为未来解决聚酯废料污染问题提供了一种更加绿色、可持续的思路。

### 5 聚酯废料循环利用技术面临的问题与挑战

技术层面,回收产品质量不稳定,物理回收因废料来源复杂、杂质难控致性能波动大,化学回收虽性能较好但易产生副产物影响纯度;技术成本较高,先进技术如化学、生物回收因涉及复杂过程投入大,产品成本高在市场竞争中处于劣势;技术适用范围有限,对混合或特殊处理聚酯制品缺乏有效回收技术<sup>[3]</sup>。经济层面,回收体系不完善,渠道分散不规范致效率低,小型回收商专业设备缺乏影响质量,回收价不稳定使参与积极性不高;市场接受度低,消费者对再生聚酯产品认知信任度低,企业为短期利益倾向原生原料。政策与法规层面,政策支持力度不够,缺乏税收优惠等激励政策致企业资金压力大;法规标准不完善,对回收产品质量、工艺、环境影响等缺乏明确规定,影响行业声誉与监管。

## 6 促进聚酯废料循环利用技术发展的对策建议

### 6.1 加强技术研发与创新

政府和企业应加大对聚酯废料循环利用技术研发的投入,鼓励科研机构、高校和企业开展产学研合作,共同攻克技术难题。重点支持化学回收和生物回收等前沿技术的研究,提高回收产品的质量和性能,降低技术成本。将物理回收、化学回收和生物回收等多种技术有机结合,发挥各自优势,形成综合性的聚酯废料循环利用技术体系。例如,先采用物理回收技术对聚酯废料进行初步处理,去除杂质,再利用化学回收或生物回收技术将其转化为高附加值产品。

### 6.2 完善经济激励机制

政府应加强对聚酯废料回收体系的规划和引导,建

立规范化的回收网络。通过政策扶持和资金支持,鼓励大型回收企业的发展,提高回收效率和质量。同时,加强对小型回收商的管理和培训,规范其回收行为。加强对再生聚酯产品的宣传推广,提高消费者对再生产品的认知度和信任度。通过举办产品展示会、发布宣传资料等方式,向消费者介绍再生聚酯产品的性能和优势,引导消费者树立正确的消费观念。此外,政府可通过采购政策等方式,优先采购再生聚酯产品,为再生产品开拓市场空间<sup>[4]</sup>。政府应出台更具体的经济扶持政策,对聚酯废料回收企业和再生产品生产企业给予税收优惠、财政补贴等支持。例如,对从事聚酯废料回收的企业减免增值税、所得税等税费;对购买再生聚酯原料生产产品的企业给予一定财政补贴,降低企业生产成本,提高企业市场竞争力。

### 6.3 完善政策法规与标准体系

政府应制定更完善的聚酯废料循环利用产业发展政策,明确产业发展目标和重点任务。通过政策引导,鼓励企业加大对聚酯废料循环利用技术的研发和应用投入,推动产业升级和转型。加快制定和完善聚酯废料循环利用方面的法规标准,对回收产品的质量标准、生产工艺规范、环境影响评价等方面进行明确规定。加强对市场的监管力度,严厉打击生产销售低质量再生聚酯产品的行为,规范市场秩序,保障消费者权益。

## 结语

聚酯废料循环利用技术的开发与实践对缓解资源短缺、减少环境污染、推动聚酯产业可持续发展意义重大。目前,物理回收、化学回收和生物回收等技术都在不断发展和完善,并在纺织、包装等领域得到实际应用。然而,聚酯废料循环利用技术在实际应用中仍面临技术、经济和政策法规等多方面的问题与挑战。为促进聚酯废料循环利用技术的进一步发展,需加强技术研发与创新,完善经济激励机制,健全政策法规与标准体系。随着科技的不断进步和创新,聚酯废料循环利用技术有望取得更大突破,为解决全球资源环境问题提供更有效的解决方案。

## 参考文献

- [1]苏丁仓.聚酯废料回收[J].纺织器材,2019,46(03):71-72.
- [2]梁嘉兴.利用生物废料回收梯并阶梯资源化利用作为聚酯和氢转移反应的催化剂[D].东北大学,2021.
- [3]陶家宏.利用原生聚酯装置进行PET废料化学法醇解回收[J].聚酯工业,2024,37(04):27-29.
- [4]M.Schmitz,刘甜梦.消费后和生产后废料聚酯的回收生产线[J].国际纺织导报,2021,49(06):7-8.