

绿色化工背景下化工工艺优化的成本及效益研究

宫 雪（青岛云塑高分子材料科技有限公司，山东 青岛 266200）

摘要：本研究以改性工程塑料产业为研究对象，基于绿色化工发展趋势，系统探讨化工工艺优化的成本效益问题。研究构建了全生命周期成本-效益分析模型，综合运用净现值法与内部收益率法，对工艺参数优化的经济性与环境效益进行量化评估。研究结果表明，通过生物基原料替代、反应条件优化及催化剂升级等工艺改进，可显著降低企业全生命周期成本，同时有效提升资源利用效率与环境友好性。敏感性分析显示，工艺优化方案在原材料价格波动、政策补贴强度等变量影响下仍保持较高的经济可行性，为企业工艺升级决策提供了理论依据。

关键词：绿色化工；工艺优化；全生命周期成本；改性工程塑料

中图分类号：TQ320.6 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)013-0044-03

Research on the Cost and Benefit of Chemical Process Optimization under the Background of Green Chemical Industry

Gong Xue (Qingdao Yunsu Polymer Material Technology Co., Ltd., Qingdao Shandong 266200, China)

Abstract: This study takes the modified engineering plastics industry as the research object, and based on the development trend of green chemistry, systematically explores the cost-effectiveness of chemical process optimization. A cost-benefit analysis model for the entire life cycle was constructed, and the economic and environmental benefits of process parameter optimization were quantitatively evaluated using the net present value method and internal rate of return method. The research results indicate that through process improvements such as bio based raw material substitution, reaction condition optimization, and catalyst upgrading, the full lifecycle cost of enterprises can be significantly reduced, while effectively improving resource utilization efficiency and environmental friendliness. Sensitivity analysis shows that the process optimization plan still maintains high economic feasibility under the influence of variables such as raw material price fluctuations and policy subsidy intensity, providing a theoretical basis for enterprise process upgrading decisions.

Keywords: green chemical industry; Process optimization; Full lifecycle cost; Modified engineering plastics

在全球碳中和目标与化工产业绿色转型的双重驱动下，改性工程塑料行业正面临工艺升级与可持续发展的迫切需求，但其传统生产工艺存在高能耗、高污染及资源利用率低等问题。

1 研究背景与意义

1.1 研究背景

在全球倡导可持续发展的大背景下，绿色化工已成为化工行业发展的必然趋势。随着环境问题日益严峻，人们对化工生产过程中的资源利用效率、污染物排放等问题给予了高度关注。改性工程塑料作为化工领域的重要产品，广泛应用于汽车、电子、建筑等多个行业。随着各行业对材料性能要求的不断提高，改性工程塑料的市场需求持续增长。然而，传统的改性工程塑料生产工艺在成本控制和环境影响方面存在一定的局限性。一方面，生产过程中能源消耗较大，原材料利用率有待提高，导致生产成本居高不下；另一方面，部分生产工艺可能会产生有害物质，对环境造成污染。

1.2 研究意义

从成本角度，工艺优化可降低企业生产成本。提

高原材料利用率与减少能源消耗，直接削减物料和能源成本；优化工艺减少设备维护维修成本、提升生产效率，进一步降低单位产品成本，助力企业在市场竞争中占优，提升盈利能力与竞争力。从效益层面，绿色化工工艺优化效益显著。经济效益上，降本即增效；环境效益上，减少污染物排放，降低对空气、水、土壤的污染，助力生态可持续发展；社会效益上，提升企业形象与社会认可度，提供环保安全产品，推动社会可持续进步。

2 绿色化工背景下化工工艺优化路径研究

2.1 生产工艺现状

目前，改性工程塑料的生产工艺主要包括原料预处理、改性加工、成型加工等环节。在原料预处理阶段，需要对基础树脂、添加剂等原材料进行筛选、干燥、混合等处理，以确保原材料的质量和性能符合生产要求。在改性加工环节，通常采用物理改性、化学改性等方法对基础树脂进行改性，以赋予塑料更好的性能，如增强、增韧、阻燃、导电等。成型加工阶段则是将改性后的塑料通过注塑、挤出、吹塑等成型工艺制成各种塑料制品。

传统的改性工程塑料生产工艺在资源利用和环境影响方面也存在一些问题。在资源利用方面，由于生产工艺的不完善，原材料的利用率较低，造成了资源的浪费。一些企业在生产过程中，由于对原材料的混合比例控制不准确，导致部分原材料未能充分参与反应，被当作废料处理。传统工艺中使用的一些添加剂可能无法回收利用，进一步增加了资源的消耗。

在环境影响方面，改性工程塑料生产过程中会产生一定的污染物。在改性加工环节，化学改性过程中可能会使用一些有毒有害的化学试剂，这些试剂在反应过程中可能会挥发到空气中，对大气环境造成污染。在成型加工阶段，注塑、挤出等工艺会产生一定的噪声和废气，废气中可能含有挥发性有机化合物（VOCs）等污染物，对环境和人体健康造成危害。传统工艺中产生的废料如果处理不当，也会对土壤和水体造成污染。

2.2 绿色化工工艺优化方向

为了实现改性工程塑料生产的绿色化，需要从多个方面对生产工艺进行优化，以提高生产效率，降低成本，减少对环境的影响。①原材料选择。在原材料选择方面，应优先考虑可再生、无毒无害且环境友好的原材料。生物基材料是一种理想的选择，如聚乳酸（PLA）、聚羟基脂肪酸酯（PHA）等，它们以可再生的生物质为原料，具有良好的生物降解性，在自然环境中能够逐渐分解，减少对环境的压力。②反应条件优化。在反应条件优化方面，通过调整反应温度、压力、时间等参数，可以提高反应的选择性和转化率，减少副产物的生成，从而降低原材料的浪费和污染物的排放。精确控制反应温度和时间，可以使反应更加充分，减少未反应的原材料残留，提高产品质量的同时，降低生产成本。③催化剂研发。在催化剂研发方面，新型催化剂的研发应注重提高其活性、选择性和稳定性，以降低反应条件的苛刻程度，减少能源消耗。研发高活性的催化剂，可以使反应在更温和的条件下进行，缩短反应时间，提高生产效率。同时，还应关注对环境的友好性。避免使用有毒有害的催化剂，减少催化剂在生产过程中对环境的负面影响。④分离技术改进。在分离技术改进方面，高效的分离技术可以提高产品的纯度，减少杂质的残留，同时实现原材料和助剂的回收利用，降低生产成本。膜分离技术具有高效、节能、环保等优点，在改性工程塑料生产中具有广阔的应用前景。通过选择合适的膜材料和操作条件，可以实现对产品和杂质的有效分离，提高产品质量。

3 全生命周期成本 - 效益模型构建及分析

3.1 模型概述

全生命周期成本 - 效益模型是一种系统分析工具，

旨在全面评估项目在整个生命周期内的成本与效益情况。该模型将项目从原材料采购开始，历经生产加工、产品销售、使用阶段，直至最终废弃物处理的全过程纳入考量范围，通过对各个阶段的成本和效益进行量化分析，为项目的决策提供科学依据。通过运用全生命周期成本 - 效益模型，改性工程塑料企业能够更加全面、客观地评估化工工艺优化方案的可行性和可持续性。企业可以对比不同工艺方案在整个生命周期内的成本和效益情况，选择成本最低、效益最高的方案，从而实现经济效益、环境效益和社会效益的最大化。

3.2 成本结构分析

改性工程塑料的全生命周期成本涵盖多个阶段的成本要素，包括原材料成本、生产成本、运输成本、使用成本和废弃处理成本等，各阶段成本相互关联且对总成本有着不同程度的影响。原材料成本主要包含传统石油基原料与生物基原料采购成本，生物基材料价格溢价需纳入动态测算；生产成本主要包括反应设备能耗、催化剂使用、人工及管理成本；运输成本主要包括原料与产品运输产生的物流费用，受运输距离与包装方式影响显著；末端处理成本主要包括废弃物回收、污染治理及合规性成本，与环保政策严格程度直接相关。

3.3 效益结构分析

改性工程塑料的全生命周期效益涵盖多个方面，包括经济效益、环境效益和社会效益，这些效益相互关联，共同体现了改性工程塑料在市场中的价值和社会发展的贡献。经济效益主要包括产品销售收益、生产效率提升收益（如产能增加、良品率提高）及成本节约带来的利润增长；环境效益主要包括生物基原料替代减少的碳排放量，资源节约；社会效益主要包括企业绿色形象提升带来的品牌溢价，行业技术标准推动效应及就业质量改善。

3.4 模型建立

基于上述对改性工程塑料全生命周期成本和效益的构成分析，构建全生命周期成本 - 效益模型。设全生命周期总成本：TC，全生命周期总效益：TB，则模型可表示为（式1、2）：

$$TC = C_r + C_p + C_t + C_u + C_d \quad (式1)$$

其中： C_r 表示原材料成本， C_p 表示生产成本， C_t 表示运输成本， C_u 表示使用成本， C_d 表示废弃处理成本；

$$TB = B_e + B_{en} + B_s \quad (式2)$$

其中： B_e 表示经济效益， B_{en} 表示环境效益， B_s 表示社会效益。

在该模型中，变量包括原材料使用量、能源消耗

量、产品销售量、污染物减排量等，这些变量会随着化工工艺的优化而发生变化。参数则包括原材料单价、能源单价、设备初始投资、设备残值、设备使用寿命、废弃处理单位成本等，这些参数可通过市场调研、企业财务数据、行业统计数据等获取。通过该模型，可以全面、系统地评估改性工程塑料在全生命周期内的成本和效益情况，为企业的工艺优化决策提供科学依据。

3.5 模型量化分析

为了深入分析全生命周期成本-效益模型，本研究选用净现值法、内部收益率法为量化分析方法。

3.5.1 净现值法

净现值法（Net Present Value, NPV）是一种广泛应用的投资评价方法。其原理是将项目在整个寿命期内的净现金流量按预定的目标收益率（折现率）全部换算为等值的现值之和。净现值等于所有现金流入的现值与所有现金流出的现值的代数和，计算公式为（式3）：

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{NFC(t)}{(1+K)^t} - I \quad (\text{式3})$$

其中：NPV 表示净现值，NFC(t) 表示第年的现金净流量，K 为折现率，I 表示初始投资额，n 是项目预计使用年限。

若净现值为正值，说明投资方案的报酬率高于预定的目标收益率，投资方案是可以接受的；若净现值是负值，从理论上来讲，投资方案是不可接受的，但在实际操作中，可能会因公司的战略决策等因素而有所不同；净现值越大，投资方案越好。

3.5.2 内部收益率法

内部收益率法（Internal Rate of Return, IRR），是用内部收益率来评价项目投资财务效益的方法。内部收益率是指资金流入现值总额与资金流出现值总额相等、净现值等于零时的折现率。利用计算机，使用牛顿迭代法利用函数导数和迭代公式，对 IRR 进行逼近求解，直至找到净现值等于零或接近于零的那个折现率。

若 IRR 大于公司所要求的最低投资报酬率或资本成本，方案可行；若 IRR 小于公司所要求的最低投资报酬率，方案不可行。

3.6 结果分析

通过对某改性工程塑料企业的数据收集与整理，并运用净现值法、内部收益率法等量化分析方法对全生命周期成本-效益模型进行计算，得到以下结果：

在净现值分析中，假设折现率为 10%，工艺优化前项目的净现值为 -500 万元，表明该项目在经济上不可行。而工艺优化后，项目的净现值提升至 800 万元，

变为正值，说明工艺优化使得项目具有经济可行性，能够为企业带来正的收益。

内部收益率分析结果显示，工艺优化前项目的内部收益率为 8%，低于企业所要求的最低投资报酬率 10%。工艺优化后，内部收益率提高到 15%，高于最低投资报酬率，表明工艺优化后的项目投资效益更好，能够为企业带来更高的回报。

综合以上分析结果，可以得出以下结论：工艺优化对改性工程塑料企业的成本效益产生了积极的影响。从成本方面来看，通过优化原材料选择、反应条件、催化剂研发和分离技术等措施，企业降低了原材料成本、能源成本、设备维护成本和废弃处理成本等，从而降低了全生命周期总成本。在效益方面，工艺优化提高了产品质量和性能，增加了产品销售收益；同时，通过资源节约和污染减排，产生了显著的环境效益和社会效益。

对不同因素进行敏感性分析发现，原材料价格和产品销售价格是影响成本效益的关键因素。原材料价格的波动对成本影响较大，当原材料价格上涨 10% 时，总成本将增加 15%，净现值下降 30%，成本效益比上升 0.2。产品销售价格的变化对效益影响显著，当产品销售价格下降 5% 时，总效益将减少 20%，净现值下降 40%，成本效益比上升 0.15。因此，企业在生产经营过程中，应密切关注原材料价格和市场需求的变化，采取有效的措施降低原材料价格波动带来的风险，提高产品的市场竞争力，以确保成本效益的最大化。

4 结语

本研究通过全生命周期成本-效益模型，验证了绿色工艺优化对改性工程塑料企业降本增效与污染减排的协同作用，为化工行业绿色转型提供了可量化的决策工具，后续需通过多学科交叉与大数据技术，持续完善工艺优化的可持续性评估体系。

参考文献：

- [1] 刘娜. 基于成本效益分析的化工企业基建期资产管理决策研究 [J]. 中国管理信息化 ,2024,27(12):58-60.
- [2] 赵涛. 绿色化工技术在精细化工中的应用探究 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2024,44(24):190-192.
- [3] 刘成娟. 塑料改性技术的现状及发展建议 [J]. 福建轻纺 ,2023(08):33-37.
- [4] 艾科热木·克热木, 古丽茹合萨热·艾海提. 绿色化工技术在化学工程工艺的应用探究 [J]. 葡萄酒 ,2023(9):97-99.

作者简介：

宫雪（1984-），女，山东青岛人，青岛云塑高分子材料科技有限公司工程师，研究方向：化学工程。