

# 丙烯酸生产工艺优化及其经济效益分析

雷南川（中海油惠州石化有限公司，广东 惠州 516080）

**摘要：**丙烯酸作为重要的有机化工原料，广泛应用于各个领域，其生产工艺的先进性直接决定企业竞争力与行业可持续发展水平。本文围绕丙烯酸主流生产工艺展开研究，系统分析丙烯氧化法、丙烷脱氢法的技术特点与现存问题，从不同维度提出针对性优化措施，并采用成本分析、收益测算、投资回报率评估及敏感性分析等方法量化评估工艺优化的经济效益。文章研究成果为丙烯酸生产企业的技术升级与经济决策提供理论支撑，对推动行业绿色化、高效化发展具有重要参考价值。

**关键词：**丙烯酸生产工艺；优化；经济效益

**中图分类号：**TQ225.131

**文献标识码：**A

**文章编号：**1674-5167（2025）031-0042-03

## Optimization of Acrylic Acid Production Technology and Economic Benefit Analysis

Lei Nanchuan (CNOOC Huizhou Petrochemical Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516086, China)

**Abstract:** As a crucial organic chemical raw material, acrylic acid is extensively utilized across various industries. The technological advancement of its production processes directly determines corporate competitiveness and the sustainable development level of the industry. This study focuses on mainstream acrylic acid production methods, systematically analyzing the technical characteristics and existing challenges of the propylene oxidation process and propane dehydrogenation process. Targeted optimization measures are proposed from multiple perspectives, with economic benefits quantified through cost analysis, profitability assessment, ROI evaluation, and sensitivity analysis. The research findings provide theoretical support for technological upgrades and economic decision-making in acrylic acid production enterprises, offering significant reference value for promoting green and efficient industrial development.

**Keywords:** acrylic acid production technology; optimization; economic benefit

在“双碳”目标与能源价格波动的双重背景下，传统工艺的高成本、高污染劣势日益凸显，不仅制约企业利润空间，还影响行业整体竞争力。因此，开展丙烯酸生产工艺优化研究，结合经济效益分析验证优化方案的可行性，成为解决行业发展瓶颈、实现降本增效与绿色转型的关键路径。这对于推动化工行业高质量发展具有重要的现实意义与战略价值。

### 1 现有工艺存在的问题

#### 1.1 能耗方面

丙烯氧化法中，强放热反应的热量移除和利用效率较低，大量反应热没有得到彻底回收以及有效利用，导致能源出现浪费。而且在反应中要维持特定的反应温度和压力条件，这同样要消耗非常多的能源；丙烷脱氢法因为其强吸热反应的特性，要一直从外界补充足够的热量来维持反应的进行，使能耗居高不下。如在丙烷脱氢反应中，加热反应器及维持反应温度所需的燃料消耗占整个生产成本的较大比例<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 原料利用率方面

在丙烯氧化法中，尽管丙烯的转化率较高，但在反应时依旧会出现副反应，导致一些丙烯转化为副产物，如一氧化碳、二氧化碳等，丙烯有效利用率大打折扣。不仅如此，在产物分离和精制中也会损失丙烯酸，进一步减少原料利用率。丙烷脱氢法中，虽然技

术一直在发展、进步，但丙烷的单程转化率依旧存在限制，未反应的丙烷要循环回反应器继续反应，在增加能耗的同时也在影响了整体的生产效率以及原料利用率。

#### 1.3 产品质量方面

随着社会建设进程的不断加快，丙烯酸的需求量持续提升，很多高端应用领域也明显提高了对丙烯酸的品质要求，但是从当前应用的丙烯酸生产工艺来看，并不能够促进产品质量的提升，满足不了应用需求。具体来看，在丙烯酸的生产活动当中，受到反应条件变化、副反应等因素的影响，产品中常常会存在较多的杂质，直接影响了丙烯酸的应用性能。

### 2 丙烯酸生产工艺优化方法

#### 2.1 催化剂的改进与选择

为了推进丙烯酸生产工艺的优化，尽快解决现存问题，可以从催化剂入手，对催化剂进行改进，促进催化剂活性与选择性的大幅增强，并依据生产需求，科学选择催化剂，有效提高丙烯酸的生产效率与质量。以传统钨铼系和银系催化剂为例，研究人员通过新元素或新型制备方法的应用，明显提高了催化剂的性能。同时，在稀土元素的帮助下，催化剂的晶体结构与电子云分布也能够发生较大幅度的变化，使得催化剂的活性位点大幅增强，强化催化效果<sup>[2]</sup>。

除此之外, 类型不一样的催化剂对丙烯酸生产反应的活性、选择性同样存在着非常明显的影响。在丙烯氧化法中, 钼铈系催化剂对于丙烯氧化为丙烯醛的反应具有较高的活性和选择性, 其活性位点可以吸附丙烯分子并加快其与氧气产生氧化反应, 生成丙烯醛。但是该催化剂在使用时可能会由于积碳、烧结等原因而致使活性下降, 稳定性不足。而银系催化剂在丙烯醛氧化为丙烯酸的反应中表现出良好的性能, 可以在温和的反应条件下实现较高的丙烯酸选择性。但银系催化剂成本高且对反应条件敏感, 在应用中要精细控制反应参数。

## 2.2 反应条件的优化

### 2.2.1 温度和压力的调控

通过优化反应条件对丙烯酸的生产工艺进行优化时, 工作人员还应当加强对温度与压力的调控。丙烯氧化为丙烯醛作为强放热反应, 温度给反应速率以及选择性产生了较大程度的影响。具体来看, 如果反应温度比较低, 丙烯醛的选择性虽然能够实现提升, 但无法保证反应速率的快速, 也限制着生产效率的提升; 如果反应温度较高, 可能会出现丙烯深度氧化的问题, 生产较多的副产物, 丙烯醛的收率直接降低。对此, 工作人员需要加强对温度的管控, 将反应温度控制在 $300\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 既能够保证反应速率, 也能够促进丙烯醛选择性与收率的提升。

另一方面, 在一定范围内增加反应压力能够增加反应物浓度, 以此加快反应速率、提高转化率, 但是压力太高会使得设备的投资、运行支出上升, 而且也会对反应选择性带来不利影响。在丙烯氧化法中, 反应压力通常控制在 $0.1\sim 0.3\text{ MPa}$ , 既可以满足反应对压力的需求, 又能保证生产的经济性。

### 2.2.2 原料配比的优化

在丙烯氧化法中, 丙烯与氧气的摩尔比是一个不可忽视的参数。当丙烯与氧气的摩尔比过低时, 氧气过量会导致丙烯过度氧化, 生成大量副产物, 降低丙烯酸收率; 而当丙烯与氧气的摩尔比过高时丙烯无法充分反应, 不仅会导致原料被浪费, 还会制约着生产效率的提高。通常情况下, 丙烯与氧气的最佳摩尔比在 $1:2\sim 1:3$ 之间, 具体数值要围绕催化剂性能、反应条件及设备的特性等相关因素做好优化调整<sup>[3]</sup>。

## 2.3 工艺流程的改进

新型反应器在丙烯酸生产中的应用, 为提高生产效率和产品质量提供了有力支持, 如流化床反应器和微通道反应器等得到了广泛研究。其中, 固定床反应器结构简单且操作稳定, 在丙烯氧化法中被大范围应用, 优化固定床反应器的内部结构, 如采用多段式反

应器、改进催化剂的装填方式等, 能够进一步控制反应温度, 以此增加反应的选择性和转化率; 流化床反应器传热传质效率高、反应温度均匀, 可以处理好强放热反应中的热量移除问题, 增强反应的安全性和稳定性。在丙烷脱氢法中, 流化床反应器可以使丙烷与催化剂充分接触, 实现快速的反应和催化剂的再生, 提高生产效率; 微通道反应器具有微小的通道尺寸和较大的比表面积, 可以实现反应物的快速混合和高效传热传质, 从而最大限度增强反应速率和选择性。

## 3 丙烯酸生产工艺优化的经济效益分析方法

### 3.1 成本分析

在丙烯酸生产过程中, 成本结构复杂且涉及到众多的关键组成内容。原料成本在总成本中占据极大比例, 以丙烯氧化法为例, 丙烯作为主要原料, 其价格起伏情况会对生产成本造成非常明显的影响。随着现阶段全球能源市场还有石化行业供需关系的进一步变化, 丙烯价格呈现出极为显著的周期性波动, 在过去几年中, 国际原油价格的剧烈波动直接传导至丙烯市场, 使得丙烯价格在各时间段内均发生了明显涨跌。当丙烯价格上涨时, 丙烯酸生产企业的原料采购成本进一步上升, 压缩企业的利润空间; 反之, 丙烯价格下跌则可以节省生产成本, 实现企业经济效益的最大化。

### 3.2 收益分析

通常情况下, 产品价格、产量和质量是直接影响丙烯酸生产收益的关键因素, 它们彼此关联、相互影响, 共同决定企业效益。其中, 产品价格决定了企业的销售收入, 在市场竞争中, 丙烯酸价格会被一系列因素所影响。市场供需关系是决定丙烯酸价格的核心因素, 当市场需求旺盛而供应相对不足时, 丙烯酸价格就会开始上涨, 企业销售收入随之增加; 反之, 当市场供大于求时价格会下跌, 企业收益也会受到影响。除此之外, 全球经济形势的变化也会对丙烯酸价格带来影响, 在经济增长较快时期, 下游行业如涂料、胶粘剂以及纺织等对丙烯酸的需求上升, 推动价格增加; 而在经济衰退时期需求减少, 价格则会下降。而且, 原材料价格的波动、行业竞争态势还有国际政治经济形势等因素同样会间接影响丙烯酸价格。

建立市场数据的分析和预测模型, 能够对工艺优化后产品收益的变化情况进行预测。工艺优化后如果可以增强产品质量、满足高端市场需求, 那么产品价格就会提升, 从而使得收益上涨; 工艺优化还可能提高生产效率, 进一步提高企业的收益。但是工艺优化同样要投入大量成本, 如研发费用、设备更新费用等, 只有当工艺优化创造的收益增长高于投入成本时, 企



业才会获得真正的经济利润。所以,在进行收益分析时应该全方位考虑到所有方面的因素,科学评估工艺优化对产品收益的影响,为企业决策带来确切的依据。

### 3.3 投资回报率分析

投资回报率(ROI)反映了投资项目在一定时期内的获利能力,计算方法主要有简单投资回报率和内部收益率(IRR)等。其中,简单投资回报率的计算公式为:投资回报率=(投资收益-投资成本)/投资成本 $\times 100\%$ 。投资收益是指项目在运营期内所获得的净利润,投资成本则包括项目建设初期的固定资产投资、无形资产投资以及流动资金等。例如,某丙烯酸生产企业进行工艺优化项目投资,总投资成本为1亿元,经过一年的运营,获得投资收益1500万元,则该项目的简单投资回报率为 $(1500-10000)/10000 \times 100\%=15\%$ 。简单投资回报率计算方法简单直观,能够快速反映投资项目的盈利能力,但它没有考虑资金的时间价值,在评估长期投资项目时存在一定的局限性<sup>[4]</sup>。

内部收益率作为一种重要的投资回报率计算方法,将资金时间价值考虑在内,能够将项目的现金流入及流出进行折现计算。在开展内部收益率的计算工作时,需要对项目未来各年的现金流量进行预测,随即在试错法或先进财务软件的帮助下,尽快得出投资项目净现值为0时的折现率,也就是内部收益率。内部收益率能够科学衡量投资项目的盈利能力,可将内部收益率与企业的资金成本或期望收益率进行对比,判定项目的投资价值,为项目投资工作的开展提供关键的数据支撑。

在对丙烯酸生产工艺的优化项目进行评估时,需要将投资回报率作为重要的决策依据。投资回报率反映出项目的经济效益,也能够科学评估相应投资项目的可行性。企业需要从自身实际出发,对资金情况、现行发展战略进行分析,并评估自身的风险应对能力,尽快设定特定的投资回报率标准。同时,企业还应当对市场环境展开细致分析,掌握当前的市场环境以及竞争态势,并分析技术风险,保证评估的全面,加快制定科学合理的投资决策,有效维护自身的经济效益,促进项目经济效益的提升。

### 3.4 敏感性分析

为了实现对丙烯酸生产工艺优化经济效益的科学分析,还可以积极推进敏感性分析工作,可尽快掌握原材料价格、产品价格、市场需求等因素给经济效益带来的影响,促使企业加快制定科学合理的决策方案。随着社会生产与建设进程的不断加快,外部环境复杂多变,较大程度上影响着企业运行的稳定状态,企业

需要对众多信息进行研究和分析,优化战略决策,维护经济效益。在此期间,原料价格的波动通常会在成本传导机制的作用下,给丙烯酸生产的经济效益带去显著影响。例如,在丙烯氧化法中,保持其他条件的稳定而丙烯价格上涨,那么生产成本将会快速提升,压缩了企业的利润空间,导致其无法赚取更高水平的经济效益。

借助敏感性分析,企业就能够知道哪些因素对经济效益的影响最明显,从而在生产经营期间高度重视相关因素的变化并事先采取应对方法。对于原料价格敏感的企业,可以借助与供应商签订长期合同、建立原料储备库或进行套期保值业务等渠道,最大限度减少原料价格波动造成的风险;对于产品价格敏感的企业,可以做好市场调研工作,第一时间了解市场价格信息,改进产品定价方法,增强产品附加值以及市场竞争力;对于市场需求敏感的企业则要加大市场开拓力度,拓展销售渠道,开发新的应用领域以稳定、扩大市场需求。敏感性分析为企业在千变万化的市场环境中做出正确决策带来了决定性参考,有助于企业增加经济效益,实现可持续发展目标<sup>[5]</sup>。

## 4 结语

综上所述,现有丙烯氧化法以及丙烷脱氢法面临着各种各样的挑战,这些问题共同导致生产效率低、成本高。通过新型复合催化剂应用、反应温度与压力精准调控、原料丙烯-空气配比优化及变压吸附分离技术引入,能够进一步增加原料转化率、减少能耗。随着绿色化工技术发展,后期还可以探索太阳能辅助加热、二氧化碳资源化利用等技术与丙烯酸生产工艺的融合,推动行业向零碳生产方向迈进,实现技术升级与可持续发展的深度融合。

### 参考文献:

- [1] 邓方健,刘勇.丙烯酸合成技术及应用研究进展[J].化工科技,2024(09):11-16.
- [2] 赵静.基于全流程模拟的丙烯酸生产工艺用能优化与节能潜力分析[J].石油炼制与化工,2022,53(8):98-105.
- [3] 肖铭.国内外甲基丙烯酸甲酯的生产和消费分析[J].精细与专用化学品,2025,33(01):13-16.
- [4] 单伟.丙烯酸生产工艺水资源代谢分析及优化调控研究[J].江苏科技信息,2016(20):73-76.
- [5] 周灵芝,吕波,曹志芳.苯乙烯和四氯化碳法生产肉桂酸工艺优化[J].化工管理,2015(06):175+177.

### 作者简介:

雷南川(1989-),男,汉族,四川广安人,本科,助理工程师,研究方向:丙烯酸及酯工艺技术。