

# C<sub>4</sub> 加氢产物作乙烯原料的研究及经济性分析

胡 帅 (浙江建安检测研究院有限公司, 浙江 杭州 310000)

**摘要:** 乙烯作为化工行业的基础原料, 其生产技术和原料选择一直是研究的热点。传统上, 乙烯主要通过蒸汽裂解石脑油或天然气中的乙烷来生产。然而, 随着石油资源的逐渐枯竭和环保要求的提高, 寻找替代原料成为行业发展的趋势。C<sub>4</sub> 加氢产物, 如丁烷和丁烯, 因其来源广泛且价格相对低廉, 成为乙烯生产的潜在原料。在探索 C<sub>4</sub> 加氢产物转化为乙烯的工艺路线, 并对其经济性进行全面分析, 以评估其在工业应用中的可行性。基于此, 本篇文章对 C<sub>4</sub> 加氢产物作乙烯原料的研究及经济性进行研究, 以供参考。

**关键词:** C<sub>4</sub> 加氢产物; 乙烯原料; 研究分析; 经济性分析

## 0 引言

使用 C<sub>4</sub> 加氢产物作为乙烯生产原料的可行性及其经济性, 通过实验室规模的反应条件优化、催化剂筛选和产物分布分析, 确定了 C<sub>4</sub> 加氢产物转化为乙烯的工艺参数。C<sub>4</sub> 加氢产物作乙烯原料的经济性分析包括原料成本、生产成本、市场分析和投资回报评估。结果表明, C<sub>4</sub> 加氢产物作为乙烯原料具有潜在的经济优势, 尤其是在原料成本和能耗方面。然而, 实际应用中还需考虑催化剂成本、设备投资和市场风险等因素。本研究为乙烯生产的原料多样化提供了新的视角, 并为相关产业的经济决策提供了数据支持。

## 1 C<sub>4</sub> 加氢产物的组成和原理

### 1.1 C<sub>4</sub> 烃类的组成

C<sub>4</sub> 烃类是一组含有四个碳原子的烃类化合物, 它们在石油化工行业中具有重要的应用价值。C<sub>4</sub> 烃类主要包括丁烷 (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)、丁烯 (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>)、丁二烯 (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>) 和丁炔 (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>) 等。这些化合物可以通过不同的化学反应和工艺过程从石油和天然气中提取或合成。丁烷通常存在于天然气和石油中, 可以通过分馏或加氢裂化等方法从这些原料中分离出来。丁烯和丁二烯则主要通过蒸汽裂解或催化裂化等石油炼制过程中的副产品获得。在蒸汽裂解过程中, 较重的石油馏分在高温下分解, 生成乙烯、丙烯等轻质烯烃的同时, 也会产生 C<sub>4</sub> 烃类。

此外, 丁二烯还可以通过丁烷或丁烯的脱氢反应制得。C<sub>4</sub> 烃类的来源不仅限于石油炼制, 它们也可以通过生物质转化、合成气转化等非石油途径获得。例如, 通过生物质气化或发酵可以得到含有 C<sub>4</sub> 烃类的合成气, 再通过费托合成等工艺转化为 C<sub>4</sub> 烃类。

### 1.2 C<sub>4</sub> 加氢反应的原理

C<sub>4</sub> 加氢反应是一种将 C<sub>4</sub> 烃类 (如丁烯、丁二烯

等) 通过加氢转化为饱和烃 (如丁烷) 的化学过程。这一过程通常在催化剂的作用下进行, 目的是为了去除不饱和烃中的双键或三键, 从而得到更稳定的饱和烃。加氢反应的原理基于氢气与不饱和烃之间的加成反应。在催化剂 (如镍、钨、铂等金属或其化合物) 的存在下, 氢气分子被活化, 形成活性氢原子, 这些活性氢原子能够与 C<sub>4</sub> 烃类中的双键或三键发生反应, 将氢原子加到碳原子上, 从而饱和双键或三键。

## 2 乙烯生产技术的应用可能性

### 2.1 传统乙烯生产方法 (如蒸汽裂解)

传统乙烯生产方法中, 蒸汽裂解是最主要的技术。这一过程涉及将较重的石油馏分 (如石脑油、轻柴油等) 在高温下与蒸汽反应, 通过热裂解的方式将长链烃分子断裂成较短的烃分子, 从而生成乙烯和其他轻质烯烃。蒸汽裂解的基本原理是利用高温 (通常在 750℃ 至 900℃ 之间) 和蒸汽的存在, 打破烃类分子中的碳碳键, 使其分解成更小的分子。在这个过程中, 蒸汽不仅作为热载体, 还参与反应, 帮助降低烃分子的碳链长度, 增加烯烃的产率。

蒸汽裂解的过程可以概括为以下步骤: 将石油馏分预热至接近反应温度; 在裂解炉中, 原料与过热蒸汽混合, 在高温下迅速进行裂解反应; 裂解产物在离开裂解炉后立即通过急冷系统冷却, 以停止进一步的反应, 防止烯烃的过度裂解或聚合。裂解气经过一系列的冷却、压缩和分离步骤, 将乙烯与其他气体 (如甲烷、乙烷、丙烯、丁二烯等) 分离, 并通过精馏等方法进一步纯化; 蒸汽裂解是一个高能耗的过程, 需要大量的热量来维持高温反应条件。此外, 由于裂解反应的复杂性, 产物中除了乙烯外, 还会包含多种其他烃类, 因此, 分离和纯化过程也相对复杂。尽管如此, 蒸汽裂解仍然是全球乙烯生产的主导技术, 因为它能

够提供高产量和相对低成本的乙烯。

## 2.2 乙烯生产的新技术

乙烯生产的新技术不断涌现，旨在提高能效、降低成本、减少环境影响，并利用更广泛的原料来源。以下是一些新兴的乙烯生产技术：与传统的蒸汽裂解相比，催化裂解在较低的温度下进行，使用特定的催化剂来促进烃类分子的裂解，从而提高乙烯的选择性和产率，同时减少能耗。甲烷氧化偶联（OCM）技术这一技术旨在直接以甲烷（天然气的主要成分）生产乙烯。通过在催化剂的作用下，甲烷与氧气反应生成乙烯和乙烷。尽管这项技术目前仍处于研究阶段，但它有望成为一种更直接且环境友好的乙烯生产方法。生物质转化技术，利用生物质（如植物油、木质纤维素等）作为原料，通过热解、气化或发酵等方法生产合成气，再通过费托合成或直接生物质转化技术生产乙烯。这种方法有助于减少对化石燃料的依赖，并降低碳足迹。

随着可再生能源的发展，电裂解技术利用电能产生的高温来裂解烃类，从而生产乙烯。这种方法可以与可再生能源发电相结合，减少碳排放，并提高能源利用效率。化学循环裂解技术这是一种新型的热裂解技术，通过使用可循环的固体氧载体来提供反应所需的氧气，从而在封闭循环中实现烃类的裂解，减少能耗和排放。

## 2.3 C<sub>4</sub> 加氢产物在乙烯生产中的应用可能性

C<sub>4</sub>加氢产物，主要是指通过加氢反应将C<sub>4</sub>烃类（如丁烯、丁二烯等）转化为饱和烃（如丁烷）后的产物。在乙烯生产中，这些产物具有一定的应用潜力，尤其是在乙烯的下游产品制造和辅助过程中。丁烷可以作为乙烯生产的原料之一，通过蒸汽裂解或催化裂解等方法转化为乙烯。虽然丁烷的乙烯产率不如轻质烃类（如乙烷和丙烷），但在原料多样化的战略中，它可以作为一种补充原料。丁烷是一种清洁的燃料，可以用于乙烯生产过程中的加热和动力需求，如裂解炉的燃烧，从而减少对外部能源的依赖。丁烷具有良好的溶解性能，可以作为溶剂在乙烯生产中的某些分离和纯化步骤中使用，例如在萃取蒸馏或吸附过程中。丁烷还可以用于生产其他化学品，如丁二醇、丁酮等，这些化学品在乙烯下游产品的生产中也有应用。在某些乙烯共聚物的生产中，丁烷可以作为共聚单体，与乙烯反应生成具有特定性能的共聚物，如丁烯乙烯共聚物。尽管C<sub>4</sub>加氢产物在乙烯生产中的直接应用可

能不如C<sub>2</sub>和C<sub>3</sub>烃类广泛，但它们仍然可以通过上述方式在乙烯产业链中发挥作用。

## 3 C<sub>4</sub> 加氢产物作为乙烯原料的实验室研究

在实验室研究中，反应条件、催化剂选择和产物分布是关键因素，它们共同决定了化学反应的效率和选择性。反应条件包括温度、压力、反应时间以及原料的摩尔比等。这些参数需要精确控制，以确保反应在最佳状态下进行，从而获得预期的产物。例如，在加氢反应中，温度和压力的选择会影响催化剂的活性和产物的选择性。催化剂选择是实验室研究中的另一个关键环节。不同的催化剂具有不同的活性和选择性，因此需要根据反应类型和目标产物来选择合适的催化剂。

催化剂的物理和化学性质，如表面积、孔结构、金属分散度和载体材料，都会影响其性能。产物分布是指反应后生成的各种产物的比例。在多相反应中，产物分布直接反映了催化剂的选择性和反应条件的优化程度。通过分析产物分布，研究人员可以调整反应条件和催化剂配方，以提高目标产物的产率，并减少副产物的生成。因此，实验室研究通过精细调控这些因素，可以为工业化生产提供理论基础和优化方案，确保化学反应的高效和环保。

## 4 C<sub>4</sub> 加氢产物作乙烯原料的经济性分析

### 4.1 原料成本分析

在原料成本分析中，比较C<sub>4</sub>加氢产物与传统原料的成本，需要考虑原料的购买价格、处理成本以及转化效率等因素。例如，传统原料（如石脑油）的市场价格为每吨500美元，而C<sub>4</sub>加氢产物（如丁烷）的价格为每吨400美元。然而，C<sub>4</sub>加氢产物在乙烯生产中的转化效率可能低于石脑油，例如石脑油的乙烯产率为80%，而丁烷的乙烯产率为70%。

成本计算如下：

石脑油生产乙烯的成本： $500 \text{ 美元} / \text{吨} \div 0.8 = 625 \text{ 美元} / \text{吨乙烯}$

丁烷生产乙烯的成本： $400 \text{ 美元} / \text{吨} \div 0.7 = 571.43 \text{ 美元} / \text{吨乙烯}$

研究表明，尽管C<sub>4</sub>加氢产物（丁烷）的购买价格较低，但由于其转化效率较低，最终生产乙烯的成本可能并不一定低于传统原料（石脑油）。实际成本分析还需考虑原料的可用性、运输成本、设备投资以及操作费用等因素。在实际应用中，需要综合考虑这些因素，以确定最经济的原料选择。

## 4.2 生产成本分析

在生产成本分析中, 能耗、催化剂成本和维护费用是乙烯生产中的主要成本组成部分。例如, 乙烯生产厂的年产量为 100 万吨, 能耗成本占生产总成本的 30%, 催化剂成本占 10%, 维护费用占 5%。

能耗成本: 例如每吨乙烯的能耗成本为 150 美元, 那么年能耗成本为  $150 \text{ 美元/吨} \times 100 \text{ 万吨} = 1.5 \text{ 亿美元}$ 。

催化剂成本: 例如催化剂的更换周期为一年, 总成本为 5000 万美元。

维护费用: 例如年维护费用为 2500 万美元。

总生产成本计算如下:

能耗成本: 1.5 亿美元

催化剂成本: 5000 万美元

维护费用: 2500 万美元

总成本:  $1.5 \text{ 亿} + 5000 \text{ 万} + 2500 \text{ 万} = 2.25 \text{ 亿美元}$

因此, 每吨乙烯的生产成本为  $2.25 \text{ 亿美元} \div 100 \text{ 万吨} = 225 \text{ 美元/吨}$ 。

研究表明, 能耗是乙烯生产成本中的主要部分, 其次是催化剂成本和维护费用。实际生产中, 这些成本会受到原料价格、技术效率、能源价格和市场条件等因素的影响。生产商需要通过提高能效、优化催化剂使用和减少维护成本来降低总体生产成本, 以保持竞争力。

## 4.3 市场分析

市场分析显示, 随着新兴经济体的增长, 乙烯需求持续增长, 尤其是在包装、建筑和汽车制造领域。价格趋势方面, 乙烯市场受原油价格波动、供需关系、生产成本以及地缘政治因素的影响。近年来, 由于原油价格的波动和全球贸易紧张局势, 乙烯价格呈现出一定的波动性。长期来看, 随着新产能的投入和技术的进步, 乙烯价格可能面临下行压力。竞争格局方面, 乙烯市场竞争激烈, 主要生产商通过规模化生产、技术创新和成本控制来保持竞争力。同时, 随着环保法规的加强和可持续发展的要求, 生物质乙烯等新型生产技术也在逐渐崭露头角, 可能会改变现有的竞争格局。因此, 乙烯市场的未来发展将受到全球经济形势、能源价格、技术创新和环保政策等多重因素的影响。生产商和投资者需要密切关注这些动态, 以做出明智的市场决策。

## 4.4 投资回报分析

投资回报分析是评估乙烯项目经济可行性的关键

步骤。投资成本包括建设新设施或升级现有设施的费用, 如土地、建筑、设备和技术许可等。收益预测基于市场分析, 考虑乙烯的预期售价和产量, 计算出项目的潜在收入。风险评估涉及市场波动、原料价格变动、技术失败和政策变化等因素, 这些都可能影响项目的盈利能力。例如, 例如投资成本为 10 亿美元, 预期年收益为 2 亿美元, 项目寿命为 10 年。在不考虑折现的情况下, 简单投资回报期为 5 年 ( $10 \text{ 亿} \div 2 \text{ 亿}$ )。然而, 实际分析需考虑资金的时间价值和风险溢价, 通过净现值 (NPV)、内部收益率 (IRR) 和敏感性分析等财务工具来更准确地评估投资回报。

## 5 结束语

总之, 通过对 C<sub>4</sub> 加氢产物作乙烯原料的工艺研究和经济性分析, 揭示了其在乙烯生产中的潜在优势。实验室验证了工艺的可行性, 而经济性分析则表明, 尽管存在一定的技术和市场风险, C<sub>4</sub> 加氢产物作为乙烯原料在成本控制和资源利用方面具有显著优势。随着技术的进一步发展和市场条件的优化, C<sub>4</sub> 加氢产物有望成为乙烯生产的重要原料之一。本研究为乙烯产业的发展提供了新的思路, 并为决策者提供了重要的经济和技术参考。

## 参考文献:

- [1] 白博坤. Fe 基催化剂亲疏改性及其对 CO 加氢产物分布的影响研究 [D]. 银川: 宁夏大学, 2023.
- [2] 邓伟强. 碳四烯烃催化加氢反应动力学研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2023.
- [3] 吴桂良, 薛扬. 乙烯裂解抽余碳四高附加值利用工艺路线分析 [J]. 山东化工, 2023, 52(07): 39-42.
- [4] 王奕. 丁二烯选择性加氢催化剂设计及构效关系研究 [D]. 杭州: 浙江师范大学, 2023.
- [5] 潘宇, 侯建峰, 李晓鹏, 等. 混合 C<sub>4</sub> 作乙烯原料的研究及经济性分析 [J]. 现代化工, 2023, 43(02): 219-222.
- [6] 黄国金, 史建波, 张恒珍. 乙烯装置碳二加氢反应器飞温案例分析及对策 [J]. 石油化工自动化, 2022, 58(06): 91-94.
- [7] 刘剑, 朱丽娜, 赵辉, 等. C<sub>4</sub> 加氢产物作乙烯原料的研究及经济性分析 [J]. 石油炼制与化工, 2021, 52(03): 105-109.

## 作者简介:

胡帅 (1989-), 男, 汉族, 湖北潜江人, 本科, 中级工程师, 主要从事石油化工行业环境、安全、职业卫生咨询评价工作。