

粗苯加氢生产中的全流程成本控制研究

李明伦 郭红海 周 猛 赵兵兵 侯 伟 (山东盛发焦化有限公司, 山东 济宁 272300)

摘要: 随着芳烃产业链竞争加剧和能源价格波动, 粗苯加氢生产面临原料成本上升、能耗水平偏高以及安全环保约束趋严等多重压力, 全流程成本控制已成为决定企业竞争力的关键因素。本文分析粗苯加氢生产全流程核心环节及原理, 并从原料采购与预处理、反应与分离能耗、催化剂与设备运行、产品精制与质量控制、综合管理等方面探索构建其全流程成本控制框架, 进而分析该思路下的经济成本效益, 希望帮助提升企业盈利能力和可持续发展水平。

关键词: 粗苯加氢; 全流程; 成本控制; 策略优化

中图分类号: TQ241 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0067-03

Research on Full-Process Cost Control in the Hydrogenation Production of Crude Benzene

Li Minglun, Guo Honghai, Zhou Meng, Zhao Bingbing, Hou Wei (Shandong Shengfa Coking Co., Ltd., Jining Shandong 272300, China)

Abstract: With the intensification of competition in the aromatics industry chain and the fluctuation of energy prices, the hydrogenation production of crude benzene is facing multiple pressures such as rising raw material costs, high energy consumption levels, and increasingly strict safety and environmental protection constraints. Full-process cost control has become a key factor determining the competitiveness of enterprises. This paper analyzes the core links and principles of the entire process of crude benzene hydrogenation production, and explores the construction of a full-process cost control framework from aspects such as raw material procurement and pretreatment, reaction and separation energy consumption, catalyst and equipment operation, product refining and quality control, and comprehensive management. Then, it analyzes the economic cost-effectiveness under this idea, hoping to help improve the enterprise's profitability and sustainable development level.

Key words: Hydrogenation of crude benzene "Full process; Cost control Strategy optimization

近年来, 受原料价格波动、下游需求变化和环保标准提升等因素影响, 粗苯加氢企业普遍面临成本压力增大、盈利空间收窄的挑战。在此形势下, 单纯依靠扩大规模或单一环节降本已难以形成持续竞争优势, 必须从全流程视角出发, 统筹考虑原料采购、能源消耗、催化剂与设备运行、产品质量以及安全环保等环节的成本构成与联动关系。

因此, 如何在保证装置安全稳定运行和产品质量的前提下, 系统识别各环节的成本驱动因素并实施有针对性的控制策略, 构建覆盖全流程的成本控制体系, 已成为当前粗苯加氢生产亟待解决的重要课题。

1 粗苯加氢生产全流程核心环节及原理

粗苯加氢生产主要包括原料预处理、催化加氢、产物分离和产品精制四个核心环节。原料粗苯首先需经过过滤、换热和脱重组分, 以分离出轻苯并脱除水分及部分无机盐, 避免后续催化剂中毒和管道堵塞。预处理后的轻苯与循环氢气混合, 在多级蒸发器中汽化, 并依次通过预反应器和主反应器。在催化剂作用下, 粗苯中的硫、氮、氧等杂原子被加氢转化为 H_2S 、 NH_3 和 H_2O , 同时二烯烃、苯乙烯等不饱和烃也

被饱和, 从而生成以苯、甲苯、二甲苯 (BTX) 为主的加氢油。反应产物经冷却后, 在高压分离器中分离出循环氢气和液态加氢油, 后者再进入稳定塔脱除残余轻组分和酸性气体, 得到较为纯净的 BTX 混合馏分^[1]。

随后, BTX 混合馏分在预蒸馏塔中被切割为富含苯和甲苯的 BT 馏分, 以及富含二甲苯的 XS 馏分。BT 馏分进入萃取蒸馏单元, 在选择性溶剂作用下, 高效分离出非芳烃, 得到高纯度的芳烃溶液。该溶液再经汽提塔和苯/甲苯塔进一步精馏, 最终产出符合标准的纯苯和甲苯产品; XS 馏分则通过二甲苯塔分离出二甲苯。整个过程通过热量集成和溶剂回收, 最大限度降低能耗与物耗, 体现了现代粗苯加氢工艺清洁、高效的技术特点。

2 粗苯加氢生产中的全流程成本控制措施

2.1 原料采购与预处理成本优化

在保证装置长周期平稳运转以及产品品质的基础上, 全面降低粗苯加氢全链条的物料投入, 企业应优先从进料采购以及前处理两个阶段着手进行成本管控工作。企业需构建跨部门的原料购买决策体制, 把采

购部、生产车间、技术研发部、财务部等多个部门整合到同一个平台上。首先,应当根据以往的运行经验。并结合装置的设计参数,确定粗苯的各项主要质量界限指标,如三苯含量、硫氮含量、水分、烯烃含量等,将其作为选商以及议价时候的技术门槛条件。其次,应引入多元化的供应商评估指标体系,考虑因素包括报价高低、产品的质量是否可靠、能否及时提供货品、路途远近及支付手段等,通过签订长期合约、大量购入折扣等方式锁定部分规模的基本供货量,从而熨平市场价格的剧烈震荡带来的冲击;最后,构建原料品质水平跟装置运转成本挂钩的成本效益模型,把由于原料不合格而导致的产品下线停产检修、削减产能、催化剂中毒失活、管道设备堵塞种种隐形损失量化成等效成本,用以调整纯粹的价格标准^[2]。

预处理工序成本削减应致力于减少无用物耗、能耗和品质波动。企业应对粗苯储罐加装在线水分检测并设置自动排水,以减少带水导致的装置波动甚至停车风险;针对过滤、换热、脱水等各种单元,可通过调整操作参数、优化在线反冲洗制度等举措减少设备阻力降从而节约能耗并削减因堵塞引发的频繁修理。在电脱盐等深层次脱水工段,可考虑采取多场复合方式,在满足脱水效果的基础上节省电力消耗;而在工艺控制方面,则应当建立原料品质与预处理量之间的联动调节模式,依据来料品质即时调节处理速度,杜绝为寻求极限指标所作的过加工行为;同时预处理系统的含油污水、废渣等应集中回收并分类处理,内部再利用或合法对外销售均可使废物得到综合利用,进而减少环境治理支出。

2.2 加氢反应与分离过程的能耗控制

面对能源价格高位震荡以及装置负荷率提升瓶颈的情况下,加氢反应和分离工序已经成为粗苯加氢产品生产成本的重要组成部分。企业必须从工艺设计、运行优化、设备改造、能量整合等方面全方位地探寻节能的空间,通过打造全流程的能耗管理系统来推动单位产品的综合能耗不断走低。企业需要在工艺设计环节就通盘考虑能量阶梯式利用,借助流程模拟及现场测试手段优化反应器入口温度、压力、氢油比、空速等核心指标,在确保转化率和产品质量的基础上尽可能减少反应加热炉负荷和循环氢压缩功;在分离环节,应合理安排预蒸馏、萃取精馏、溶剂回收等工段的操作压力和回流比,以防止出现过分离导致的能量浪费;并且可以引入高级过程控制系统,利用多变量预测控制器对主要工艺指标实施在线寻优,从而使装置时刻处于能耗最省的“经济工况区域”之内。与此同时,应建立严厉的能耗指标考核和对标制度,将各个岗位能耗定额细化到班组,并与奖金挂钩,营造

人人节流的良好风尚^[3]。

2.3 催化剂与设备运行成本管理

由于催化剂、设备投资额高,在粗苯加氢生产成本中占比大,企业需将催化剂、设备运行成本控制提升至战略高度。实际工作中,企业在项目建设初期就应对各种催化剂进行全面的对比筛选、进行经济分析核算,不仅要考察催化剂的一次性购买价格还要计算催化剂的一次填充量、使用寿命、活性维持率、再生性能、报废处置成本等;在装置运行过程中要建立健全催化剂档案卡、活性跟踪记录,实施在线采样、定期分析,对催化剂活性变化情况进行监控,从而指导优化操作参数以及如何进行再生或者更换。此外,企业还应该对催化剂的硫化方案、启停车、催化剂钝化等步骤的操作方法进行优化,防止催化剂中毒或者物理损坏。对于已经失去活性的催化剂,应评估其是否能够对其进行再生,有无再利用的价值,通过有效的再生手段使催化剂得以充分利用,减少单位产品分摊的催化剂成本。

在这样的背景下,设备运转费用节省的关键就是提升稳定性,减少修理次数,增加修理间隔期。企业应构建风险为基础的预防检修制度,通过分析机器设备的工作状况以及其历史故障记录,安排合理的检修方案及配件库存规划,防止由于设备突发故障造成的紧急停车与应急抢修。在设备运维上要加强如压缩机、泵、换热器等核心装备的状态检测力度,采用振动检测,油品分析等方式方法,及时诊断并修复隐患以减少故障发生概率。此外,企业也可以对现有的机器设备进行节能改造,如将大功率电机实施变频改造,对换热器实施清理或者革新,以此来优化机器性能,削减运行时的能量消耗。

2.4 产品精制与质量控制成本优化

面对激烈的芳烃市场竞争环境,以及下游企业日益严格的产品质量要求,产品的精制及质量管控过程的成本管理,也由单纯的为质量保驾护航,转变成了关乎企业盈利能力大小,以及在市场竞争优势的重要指标。实践中,企业需在保证产品达到或者超出国家相关标准的情况下,通过对精制工艺进行优化、提高产品一次性合格率以及收率,来使得企业的质量成本有所下降。企业应该从工艺的设计开始做起,借助流程模拟计算结合实验论证的方式,对萃取精馏、溶剂回收、产品精馏等一系列单元的操作参数予以优化,在达到相应产品纯度以及收率的前提下,使能耗以及溶剂损失量有所下降。例如,针对萃取剂的选择种类和搭配比例方面加以改进,以此来实现在较低的溶剂比情况下,也能有良好的分离效果,进而可以减少溶剂的循环量,节省再生时的能量消耗;对于精馏塔的

操作,需要采取多变量控制策略,在线检测进料组分,并结合产品要求,实时调整回流比、进料段数、塔顶压力等,以防止不必要的深度分离造成的无用工^[4]。

降低副产品以及重质组分产出量。精制阶段应当严格控制中间体、成品质量情况,在提纯时通过调整塔顶、塔釜采出比,尽量避免由于质量不稳定造成的再次加工以及降级处理的损失。企业还应该具有良好的物料平衡统计制度以及收率计算方法,对装置全流程的物料去向均进行监测分析,以求找到造成物料损失的主要原因,并加以改善。对于不合质量标准的产品,要考察是否有降级使用或者重新加工的价值,并通过内部调拨或者对外出售的方式,将这部分产品变现,减少浪费。在控制产品质量方面,也要注重同终端用户的联系,掌握客户实际需求,防止出现苛求高于客户需求的质量标准的情况发生,从而使得不必要支出得以削减。

2.5 安全环保与综合管理成本控制

面对日趋严峻的安全生产及绿色低碳发展的硬性指标,安全环保已成为粗苯加氢生产不可或缺的成本之一,应当将其贯穿于全过程成本管控体系之中,建立本质安全化装置与绿色生产模式,使安全、环保同经济利益之间实现共赢局面。具体而言,应当以风险识别和隐患治理双重预防为基础,在加氢反应、高压分离、溶剂萃取等高危环节进行全面检查,从工艺路线改进、机械设备更新、自动控制系统等方面入手,从根本上消除危险源。如运用先进的联锁保护系统和紧急停车系统,能够有效防止因误操作引起的恶性事件的发生;在机器选择及检修过程中,要优先选择本质安全机器,并注重对核心机器设备状态检测与故障分析,保证其时刻具备安全可靠的良好性能。

环境保护上,企业应该使用先进的污染物治理技术,将生产过程中所产生的废气、废水以及废渣进行有效地处理,并且加以综合利用。例如,尾气中的硫化尾气可以采取脱硫措施;废气中含有有机化合物,可通过回收措施予以重复利用;废水经过进一步净化后循环使用等,均可大幅度削减环保支出费用及环境污染程度。与此同时,企业要切实做好能源结构调整工作,积极引进清洁能源,提升能源利用率,从而达到节能减排降本的目的。企业管理上,企业应当构建科学合理的绩效评估与奖励制度,将安全环保、能耗指标、物耗指标等重要指标列入考核范畴,并与职工的工资奖金挂钩,以此激发全体员工共同参与的管控氛围。再者,就是企业要加强与政府、社区、上下游厂家之间的联系协调,携手促进整个行业绿色和谐发展^[5]。

3 经济成本效益分析

从经济效益来看,全过程的成本管理可以在基本

不加大资本投入的基础上,通过对原材料采购环节的改善、减少消耗与浪费、提高重要设备使用寿命、生产更高价值的产品等手段,带来每单位产品的系统性的成本降低,进而形成企业的竞争优势。而成本上的优势,意味着更强的盈利能力和抗风险能力,在行情好的时候,可以获得超额收益;在行情低迷的时候,也能依靠成本空间保有合理的开工负荷,而不至于出现亏损。此外,稳定的成本结构还提升了公司对于原料、能源价格涨落的容忍度,使得企业可以平稳度过较长的价格周期,也为日后进一步的技术改造和产能扩张留足了余地。

全方位的成本管控同时还产生了很大的结构性效应,反映为经营灵活性、资本效率以及持续增长能力的整体提高。成本下降带来的单位产品固定成本及可变成本下降,使公司在定价方面具有更多的选择余地,可以适当的降价以保持公司的市场占有率,也可以在高附加值的产品获得额外收益。对于资本来说,节省下来的成本相当于同样的投资额更高的内部报酬率,或者是在维持相同回报情况下,更多用于技改和环境治理的投资,解决了“环境投入挤占利润”的悖论。同时,安全环保、综合治理方面的支出尽管短期体现为成本上升,但其减少事故损失、避免环境罚款、塑造良好企业形象而带来的隐性成本与经营不确定性的下降,从长远来看,此举将带来显著的正向收益。

4 结束语

综上所述,粗苯加氢生产中的全流程成本控制并非对单一环节的孤立压缩,而是以系统观念和全过程视角,将原料采购、预处理、反应分离、产品精制、催化剂与设备运行、安全环保等环节有机衔接,在保障装置本质安全与产品质量的前提下,对成本构成进行整体优化与协同管理。未来,企业应在实践中不断完善成本控制体系,强化跨部门协同与信息共享,推动精细化管理与数字化、智能化手段的深度融合,从而构筑面向高质量发展的长期竞争优势。

参考文献:

- [1] 孙国华. 焦化粗苯加氢精制与萃取蒸馏工艺[J]. 化纤与纺织技术, 2025, 54(08): 60-62.
- [2] 李涛, 樊林峰, 刘平, 等. 粗苯加氢脱硫工艺及催化剂[J]. 当代化工, 2025, 54(03): 715-723.
- [3] 林蒙蒙, 秦洪亮, 刘峰祥, 等. 粗苯加氢生产全流程降本增效的探讨[J]. 山东化工, 2024, 53(17): 212-214.
- [4] 任文隽. 粗苯加氢工艺风险控制措施[J]. 化工管理, 2024(14): 153-156.
- [5] 霍素斌. 浅谈焦化粗苯加氢精制中的萃取蒸馏工艺[J]. 燃料与化工, 2023, 54(05): 1-5.