

乙苯装置生产负荷综合分析研究与经济性评估

陈海发 吕鸿博 (中海油东方石化有限责任公司, 海南 东方 572600)

摘要: 乙苯—苯乙烯联合装置是石化产业链核心, 对企业效益影响深远。本文基于东方石化乙苯装置实际运行, 从基本特征、干气切出操作及其影响、停用脱丙烯系统效益、副产物与负荷关系四方面分析。结果表明: 高负荷下副产物生成比例上升, 导致干气频繁切出、能效降低、经济性受损; 停用脱丙烯系统后, HC-501 催化剂作用下能耗下降, 月经济效益提升约 42 万元, 体现工艺优化价值。同时, 二乙苯等副产物隐性损失限制产量与效益。综合分析, 负荷调控与副产物管理是优化关键, 在市场环境下提升企业竞争力。

关键词: 乙苯装置; 生产负荷; 干气切出; 脱丙烯系统; HC-501 催化剂; 经济效益; 成本控制; 效益评估
中图分类号: TQ241.1+5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 031-0039-03

Comprehensive Analysis of Production Load and Economic Assessment of the Ethylbenzene Unit

Chen Haifa, Lv Hongbo (CNOOC Oriental Petrochemical Company Limited, Dongfang Hainan 572600, China)

Abstract: The ethylbenzene-styrene joint unit is the core of the petrochemical industry chain, significantly impacting company benefits. This paper analyzes the actual operation of the ethylbenzene unit at Dongfang Petrochemical from four aspects: basic characteristics, dry gas cutting operations and their impact, the benefits of idle propylene removal systems, and the relationship between by-products and load. The results indicate that the proportion of by-product generation increases under high loads, leading to frequent dry gas cuts, reduced energy efficiency, and economic losses; after the removal of the propylene system, energy consumption decreases under the action of HC-501 catalyst, with monthly economic benefits increasing by approximately 420,000 yuan, reflecting the value of process optimization. Meanwhile, the latent loss of by-products such as diethylbenzene limits production and benefits. In summary, load control and by-product management are key to optimization, enhancing corporate competitiveness in the market environment.

Keywords: Ethylbenzene unit; production load; dry gas cutting; propylene removal system; HC-501 catalyst; economic benefits; cost control; benefit assessment.

乙苯是生产苯乙烯的关键原料, 其运行稳定性关系下游产业链。

乙苯装置通过苯与乙烯烷基化反应生产, 副产物多, 负荷波动时常采用干气切出调节, 易造成资源浪费。脱丙烯系统等辅助单元也直接影响产品收率与能耗。现有研究多关注局部优化, 而负荷、副产物与能耗间的耦合关系及其经济效益尚待深入。本文依托中海油东方石化乙苯装置的实际运行数据, 重点分析干气切出机制、停用脱丙烯系统的经济性及其副产物隐性损失, 探讨通过负荷与副产物管理提升装置安全性、经济性与整体效率, 为企业优化提供支持。

1 乙苯装置基本运行特征

1.1 装置设计参数与规模

中海油东方石化乙苯装置设计为 12.72 万 t/a, 苯乙烯装置为 12 万 t/a, 两者均设计为年运行 8000h, 负荷弹性范围为 60% - 110%。设计理念要求乙苯与苯乙烯装置协同运行, 以维持物料罐存平衡。

1.2 实际运行特征

自 2015 年投产以来, 乙苯装置负荷多维持在 90% 以上。受上游催化装置干气质量偏低影响 (设计

要求 $C_3+ \leq 300\text{ppm}$, 实际约 10000ppm), 副产物比例显著增加, 加重了精馏分离系统的运行压力。特别是 T106 乙苯精馏塔 (设计负荷 150%) 与 T107 丙苯塔 (设计负荷 120%) 之间的设计差异, 使得在副产物比例增高时, T107 塔必须超负荷运行。为保持生产稳定, 装置不得不采取干气切出方式。

2 干气切出及其对负荷的影响

2.1 干气切出的成因

乙苯装置将部分干气切至燃料气管网主要基于以下原因: 下游苯乙烯装置负荷降低时, 乙苯消耗减少, 为控制罐存需降低进料负荷, 导致干气切出; 乙苯装置高负荷运行时副产物增多, 为平衡系统物料也需切出部分干气; 夏季循环水温升高致制冷效果下降, 需降负荷控制产品温度; 此外, 保留部分干气切出有助于维持系统压力稳定, 避免供料波动。

2.2 干气切出的影响

干气切出虽保证了装置平衡, 但造成了能量浪费。部分 C_3 、 C_4 组分未能进入反应器, 而直接作为燃料气消耗, 减少了潜在的乙苯产量。同时, 能耗水平上升, 装置整体经济性下降。

3 停用脱丙烯系统的经济效益分析

3.1 停用背景

装置上下游运行稳定情况下，东方石化实施了停脱丙烯系统的方案，净化干气由 D120 直接进入反应器 R101A，以验证 HC-501 催化剂在高丙烯工况下的适应性。该措施同时减少了部分换热与泵类设备运行负荷，对能源消耗产生显著影响。

3.2 能耗对比结果（见表 1、图 1）

选取 2024 年 1 月与 7 月（装置负荷均为约 90%）的数据进行对比：燃料气消耗由 270.8 万 Nm³ 降至 249.5 万 Nm³；循环水用量减少近 14 万 t；电力消耗下降约 8 万 kw/h；综合能耗降低 15.33 kgEO/tEB。折算经济效益约为 42 万元/月。表 1 重点能耗柱状图单耗标油方式经济核算如下：从能耗柱状图分析，燃料气 / 循环水 / 电力有明显下降，冷冻水外送量也明显增加，月降低能耗 15.33 个标油。按标油单价 2.6 元 / 标油折算，7 月产乙苯 10624t，7 月可节约 2.615.3310624=423451 元（42 万元）。物料平衡经济测算脱丙烯系统停用后，丙烯产量减少约 300t/月，

但丙苯、丁苯等副产物月增加 2000t 以上。苯耗月增加约 1100t，但副产物调和价值部分弥补了损失。综合测算，月净增效约 42 万元。因此，停用脱丙烯系统在保证乙苯产量基本稳定的情况下，实现了能源节约与副产物增值的双重效益。

3.3 单耗标油方式经济核算

从能耗柱状图分析，燃料气 / 循环水 / 电力有明显下降，冷冻水外送量也明显增加，月降低能耗 15.33 个标油。按标油单价 2.6 元 / 标油折算，7 月产乙苯 10624t，7 月可节约 2.6*15.33*10624=423451 元（42 万元）。

4 乙苯装置生产负荷的经济性评估与优化策略

乙苯装置的生产负荷调整并非简单的产量增减，而是涉及原料成本、能耗、副产物价值、设备折旧以及市场供需等多方面因素的复杂经济决策。为了实现利润最大化，企业需要对不同负荷下的经济效益进行深入评估，并制定相应的优化策略。

4.1 不同负荷下的成本效益分析

在低负荷运行状态下，乙苯装置虽然能耗总量可

表 1 能耗比对

	1 月能耗	7 月能耗	1 月折标	7 月折标	1 月单耗	7 月单耗	1 月产量	7 月产量
燃料气	2707586	2494747	2143419	1974929	201.33	191.91	10646	10291
新鲜水	0.32	0.914	0.048	0.1371	0.00	0.00	10646	10291
除盐水	17.231	16.516	17.231	16.516	0.00	0.00	10646	10291
循环水	1650070	1509970	99004.200	90598.2	9.30	8.80	10646	10291
1.0 蒸汽	63.472	58.681	4823.872	4459.756	0.45	0.43	10646	10291
氮气	581.8	15925.2	87.270	2388.78	0.01	0.23	10646	10291
净化风	155966	148728	5926.708	5651.664	0.56	0.55	10646	10291
非净化风	0	0	0.000	0	0.00	0.00	10646	10291
低温热外输	63653	57455	115129.028	103918.7206	-10.81	-10.10	10646	10291
电力	1054040	965900	90647.440	83067.4	8.51	8.07	10646	10291
0.25MPa 蒸	17867	17899.9	982685.00	984494.5	-92.30	-95.67	10646	10291
凝结水	624.506	604.418	3434.783	3324.299	-0.32	-0.32	10646	10291
冷冻水	231967	297386.1	76549.11	99624.34	-7.19	-9.68	10646	10291
					109.53	94.23	89.9% 负荷	89.8% 负荷

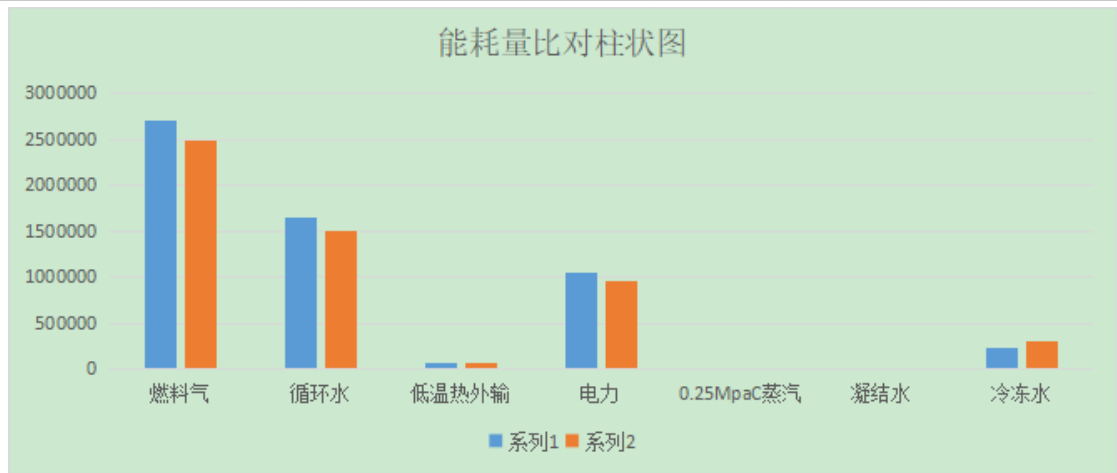


图 1 重点能耗柱状图

能降低,但单位产品能耗往往会上升,因为固定成本(如设备折旧、人员工资)被分摊到更少的产量上,导致单位产品成本增加。例如,当装置负荷从90%降至70%时,虽然燃料气消耗可能减少10%,但由于产量下降20%,单位乙苯产品的燃料气成本反而可能上升12.5%。此外,低负荷运行还可能导致催化剂活性下降,影响产品收率,进一步侵蚀利润空间。

相反,在高负荷运行状态下,单位产品固定成本被有效摊薄,理论上具有更好的经济性。然而,如前文所述,高负荷运行可能导致副产物(如二乙苯、丙苯、丁苯)生成量显著增加。这些副产物若不能有效回收或高价值利用,其处理成本和对主产品收率的稀释效应将抵消高负荷带来的部分经济优势。以中海油东方石化乙苯装置为例,在90%以上负荷运行时,干气中C3+组分含量高达10000ppm,远超设计要求的300ppm。

这部分未充分利用的组分,若能通过工艺优化回收,转化为高价值产品,将带来可观的经济增量。假设每吨C3+组分可带来2000元的额外收益,那么每月1346t的干气进料量增加,若能有效转化,将带来超过260万元的潜在经济效益。

4.2 优化策略与经济效益量化

针对乙苯装置的经济性优化,可以从以下几个方面着手。

4.2.1 精细化负荷调控

建议建立负荷经济优化模型,通过实时分析产品价格、原料成本及能耗等数据,动态调整装置负荷。例如,苯乙烯价格高时提升负荷以追逐利润;市场低迷时则降低负荷以控制成本,从而实现持续效益最大化。

4.2.2 副产物高价值利用

积极研发或引进先进技术,将乙苯装置的副产物转化为高附加值产品。例如,二乙苯可以通过脱烷基化反应循环利用,或作为其他化工产品的原料。丙苯和丁苯也可作为溶剂或燃料组分。据统计,某企业通过改进副产物回收工艺,将二乙苯的回收率提高了5%,每年可减少约500t的二乙苯损失,按当前市场价格计算,这相当于每年增加约300万元的经济效益。

4.2.3 能源效率提升与成本节约

持续推进节能降耗技术改造。例如,停用脱丙烯系统带来的月度42万元经济效益,是能源优化和催化剂适应性提升的直接体现。未来可进一步探索余热回收、智能控制系统应用等,以期实现更大的成本节约。

5 负荷与副产物生成关系

5.1 副产物比例变化

停用脱丙烯系统后,丙烯、丁烯组分直接进入烷基

化反应器,导致丙苯、丁苯二乙苯等副产物增加。T107丙苯塔需提高塔顶温度,将丁苯与二乙苯一并带出,造成二乙苯“隐形损失”。

5.2 对乙苯收率的影响

1月乙苯产量为10646t,7月为10624t,但同期干气进料量增加1346t。这表明进料量增加并未转化为有效产量。若将二乙苯隐形损失折算为乙苯,则理论负荷可达98%,明显高于实际值。

5.3 精馏系统操作的限制

为避免副产物累积影响产品质量,操作上需降低灵敏板温度,并间歇采出“其他组分”。然而,这一操作不可避免地导致乙苯随塔釜流出,增加了损失。

6 结论

本文对乙苯装置运行数据进行综合分析,深入探讨了生产负荷、干气切出、脱丙烯系统停用以及副产物生成对装置运行的影响,并特别强调了其经济性维度。研究结果表明:①干气切出是乙苯装置在高负荷与下游波动下的常见调节手段,但其造成了潜在的能量与产量损失,直接影响装置的经济效益;②停用脱丙烯系统显示出明显的经济效益。在HC-501催化剂工况下,装置月节约能耗约42万元,同时副产物增加带来的价值部分抵消了苯耗上升的负面影响,这体现了工艺优化在成本控制和效益提升方面的巨大潜力;③副产物生成与负荷密切相关。二乙苯的隐形损失导致装置产量与进料量之间存在偏差,是制约乙苯产量和经济效益提升的关键因素。通过对副产物的高价值利用,可以显著改善装置的整体经济表现。

总体而言,乙苯装置优化运行的核心在于平衡负荷与副产物生成,并通过深入的经济性评估和合理的工艺调节,持续挖掘经济潜力,从而显著提升企业的核心竞争力和可持续发展能力。

参考文献:

- [1] 杨玉祥,张振,乙苯负压绝热脱氢制苯乙烯技术的工业应用[J].石油炼制与化工,2022,52(02):33-36.
- [2] 张彬,杨为民,乙苯/苯乙烯生产过程的优化运行研究[J].华东理工大学学报(自然科学版),2014,40(04):493-499.
- [3] 崔永刚,吴国莹,苯乙烯装置能耗分析与优化措施[J].炼油技术与工程,2021,51(01):65-68.
- [4] 刘业宏,杨克,乙苯装置脱丙烯系统优化改造分析[J].石油炼制与化工,2019,49(12):44-48.
- [5] 肖家旺,魏林海,干气气相法烷基化制乙苯新型催化剂工业侧线试验研究[J].石油炼制与化工,2025,56(04):96-101.