

MTBE 装置综合能耗优化及经济效益分析

刘高祥（中国石化海南炼油化工有限公司，海南 洋浦 578101）

摘要：在现代化工行业，MTBE（甲基叔丁基醚）作为重要的汽油添加剂，其生产过程中的能源消耗一直为人们所关注，优化综合能耗尤为重要，可以提高 MTBE 装置的生产效率和经济效益，MTBE 装置在生产过程中，涉及原料处理、反应控制、产品分离与精炼等多个能耗环节。通过对这些环节的细致研究发现能耗优化的空间很多，基于此，通过对 MTBE 装置能耗构成和现状的分析，对产生的经济效益进行分析，提出综合能耗优化措施，为 MTBE 的企业提供节能增效的经济基础。

关键词：MTBE 装置；综合能耗优化；经济效益

中图分类号：TE642

文献标识码：A

文章编号：1674-5167(2025)019-0066-03

Optimization of comprehensive energy consumption and economic benefit analysis of MTBE plant

Liu Gaoxiang (Sinopec Hainan Refining & Chemical Co., LTD., Yangpu Hainan 578101, China)

Abstract: in the modern chemical industry, MTBE (methyl tertiary butyl ether) as an important gasoline additive, the energy consumption in the production process has been attention, optimize the comprehensive energy consumption is particularly important, can improve the production efficiency and economic benefits of MTBE device, MTBE device in the production process, involving raw material processing, reaction control, product separation and refining, and other energy consumption. Through the careful research of these links, it is found that there is a lot of space for energy consumption optimization. Based on this, through the analysis of the energy consumption composition and status quo of MTBE device, the economic benefits generated are analyzed, and the comprehensive energy consumption optimization measures are proposed, so as to provide the economic basis for energy saving and efficiency increase for MTBE enterprises.

Keywords: MTBE plant; comprehensive energy consumption optimization; economic benefit

MTBE 在石化行业的发展中具有举足轻重的地位，其能源消耗问题也越来越受到关注，因为环保要求越来越严格，市场竞争也越来越激烈，MTBE 装置综合能耗的降低，在帮助企业降低生产成本的同时，也可以降低对环境的冲击，增强企业的竞争能力，因此，对 MTBE 装置综合能耗优化和经济效益的研究具有十分重要的经济意义。

1 MTBE 装置能耗构成与现状

1.1 能耗构成

①反应系统能耗。MTBE 的产生主要依赖于催化剂作用下异丁烯和甲醇的醚化反应，这个反应过程必须在特定的温度和压力条件下才能得以维持，要达到这些条件通常需要消耗大量的能量，才能将反应物质加热到适宜的温度，为创造适宜的催化剂活性条件。在整个 MTBE 装置能源消耗总量中，这部分能源的消耗占据了相当大的比重。②精馏系统能耗。反应得到的产物需要经过精馏操作，将不同的成分如 MTBE 制品、未过量甲醇和未反碳四馏分分离出来，精馏塔的再沸器对物料汽化需要消耗大量的热能，而这一过程就是将液体不断加热转化蒸汽一样，需要持续的热能供给。冷凝器为了进行后续的分离操作，需要消耗冷

量，才能将蒸汽重新凝结成液体，这两者的能源消耗需求使精馏系统成为 MTBE 装置能源消耗的重要组成部分，装置规模越大处理的物料越多，再沸器和冷凝器所消耗的能量就越多。③原料预处理与产品后续处理能耗。原料甲醇和碳四馏分需要进行脱水、脱硫等预处理操作后才能进入反应系统，这样才能达到反应要求，这些前期的加工过程，也是 MTBE 装置能源消耗的重要组成部分。例如脱水过程，无疑会增加能量的消耗，而脱水过程一般是通过加热或其他物理、化学手段来达到除水的目的。而产品 MTBE 生产出来后，同样会产生能耗的过程，可能还需要进一步精加工，比如通过额外的化学反应或物理分离操作，以提高产品的纯度或去除其中的某些杂质，而这一切同样都离不开能源的支持。

1.2 能耗现状

目前，大多数 MTBE 装置都面临着较高的能耗问题，一方面，相当多的装置采用了相对落后的工艺技术，这种工艺技术的落后会造成反应效率低下，从而需要更多的能耗以达到预定的生产目标，例如，为了抑制副反应或推动主反应的进行，需要额外的能量输入，因为工艺的不完善在反应过程中可能会产生更多

的副反应。另一个不可忽视的因素是设备老化。装备的性能会随着装备使用寿命的增加而逐步下降，其能效也将大幅下降，同时，运行参数设置不合理、运行管理不到位等因素也使该装置对于节能有很大的提升空间，比如运行参数没有根据生产实际情况进行优化调整，就可能导致设备运行在非最佳状态，从而浪费大量的能源，而运行管理不善，就可能出现物料泄漏、设备空转等情况，从而使不必要的能源消耗增加。

2 MTBE 装置综合能耗优化策略

2.1 工艺改进

①优化反应条件。在 MTBE 装置的能耗优化策略中，反应条件的优化是将醚化反应所需的最佳温度、压力、空速以及醇烯比等条件，通过实验和模拟相结合的方法，可以更加精确地确定出来，适宜的反应条件在实际生产过程中具有多方面的积极意义，首先可以提高反应的转换率和选择性，从而使反应高效地朝着预期的方向前进。其次，适当的反应条件对于进料有着更大的操作弹性，而且这一方式可以降低同样需要消耗一定能量的原料预热温度，减少加热原料热水的循环量，因此可以从源头上减少其能量消耗^[1]。②采用先进催化剂。使用先进新型高效催化剂，在更加温和的条件下实现醚化反应，具有独特的性能优势，从反应原理上看，新型高效催化剂能使反应的活化能降低，从而使反应的速率和选择性都得到提高，例如，使用活性更稳定性更强的固态酸催化剂和传统催化剂，这种改变可以带来显著的效果。③改进工艺流程。优化 MTBE 的生产工艺流程是能源消耗最佳化的重要环节，其中反应精馏耦合工艺的采用的更典型的优化方法，这一工艺的创新之处在同一设备内集成了反应和精馏过程，从而达到高效利用能量的目的。在此一体化装置中，反应热可以被利用来提供精馏过程所需的能量，对外部加热能量的需求降低，从而达到节约能源的目的。

2.2 设备升级

①高效换热器应用。在 MTBE 装置中，安装高效热交换器是为了降低能耗而对设备进行升级的有效措施，例如使用板式螺旋板式热交换器，这种热交换器具有多种优点，其传热效率高，在回收热量方面表现优异，从而快速有效地实现热量的传输。同时占地面积较小，空间的利用可以更有效地体现在装置的布置上，其压降小的特性也有助于降低此环节能量的损耗，可以有效回收反应产物与原料之间的热量，从而使能量的回收效率进一步提高。②节能型精馏塔改造。节能改造精馏塔可采用比表面积更压降更低的高效填料和新型塔板，这两种特性使其在精馏过程中分离效率

得以提高，在精馏的过程中，分离效率的提高意味着可以减少能量消耗，从而降低再沸器的热负荷，垂直筛板塔等新型塔板，明显改善了气体和液体的接触，在精馏过程中，良好的气体和液体接触条件可以帮助传质效率的提高，而传质效率的提高又可以使精馏过程中的能量消耗减少。③电机系统节能升级。电机系统节能高效节能电机，并为其配备了变频调速装置，电机转速的调整根据生产负荷的实时变化，在实际生产运行过程中是十分关键的，如果电机长时间运行在低效率的浪费的能源就会很多，通过这种节能升级措施，可以有效降低电机避免电机处于低效率运行状态。

2.3 装置操作优化

①加强生产调度管理。根据市场需求和装置自身运行状况，合理安排生产负荷是 MTBE 装置能耗优化过程中加强生产调度管理的关键，由于设备在低负荷情况下运行状态与其最佳能效区间相背离，从而导致单位产品能耗上升，因此当装置处于低负荷运行时，设备的能源利用效率会降低。而超负荷运行的装置则有可能造成设备故障，既会因设备运行不正常而影响生产的正常进行，同时也会使能耗增加，从而导致设备运行不正常，因此，通过对生产调度的优化，可以使装置稳定运行在一个高效率的负荷范围内，从而使单位产品的能耗降低。②优化操作参数控制。操作者需要优化控制装置运行参数，对直接反映装置运行状态的温度、压力、流量、液面等关键参数进行实时监测，并按工艺要求适时调整，对优化装置能耗是必不可少的环节。如在原料成分发生变化的情况下，为了保证设备一直处于最佳的反应条件，操作者需要及时调整反应温度、调节塔顶回流量以及醇烯的配比。如根据精馏塔塔顶温度和压力变化而定，通过这样的操作，可以保证设备一直处于最佳的运转状态，来减少能源的消耗^[2]。③员工培训与节能意识提升。企业要定期对经营者进行培训，在操作技能、节能意识等方面给予帮助，培训内容涵盖了设备、设备操作要点、节能技术与方法等多个方面，通过培训的形式，使企业在生产过程中通过对操作者的培训，使其对装置的节能潜力点更加熟悉，在日常操作过程中有意识地采取节能措施，对潜在的能源消耗问题能够及时发现并加以解决，从而为 MTBE 装置全面优化能源消耗贡献自己的一份力量。

2.4 管理措施

①优化生产计划。在企业生产经营过程中，要对各种生产要素和可能发生的情况进行综合考虑，对每个生产环节的时间安排进行周密的规划，减少不必要的能源浪费现象的发生，生产中断带来的一连串的利空，

并且也要避免设备闲置时间过长，装置长时间的闲置不仅是浪费资源，还可能对设备的性能、寿命造成影响，生产装置可在高负荷、稳定状态下运行，通过优化生产调度。高负荷运转可以使装置的产能得到充分发挥，可以在单位时间内生产出来更多的产品，而运行状态稳定则有助于降低产品的次品率，这种优化的结果显著提高了生产效率，提高了能源利用率，精细化管理可以精确到每一个生产步骤、每一台设备的使用情况，从而实现了最优安排生产计划。②能源管理系统。实时监控装置能耗情况，可及时获取各设备不同时段耗电量、用气量等能耗数据，同时也可以深入分析这些能源数据以及能源浪费的环节，可以在分析这些数据的过程中找到答案，企业可以针对已经发现的问题，有针对性地采取措施加以改进。一般包括对设备运行时间进行调整，为降低能耗优化生产流程，节能改造设备等，能源管理制度的建立，让企业在管理上做到了精细化能耗，这种精细化管理可以在每一台设备、每一个生产环节上实施能源使能利用效率得到有效提升，能源成本得以降低，企业竞争力得以提升。③提高员工技能和激励。通过建立节能奖励机制，进一步鼓励员工积极参与节能工作，奖励机制可包括物质奖励，以提高员工的操作技能，避免因操作不当造成的能源浪费，提高员工节能意识，使员工明白能源的重要性和企业节能工作的重要意义。

3 MTBE 装置综合能耗优化的经济效益分析

3.1 能耗降低带来的成本节约

①能源成本。能源成本包括通过优化能源利用效率，采用节能设备和技术，降低能源成本所需的电力、蒸汽等能源成本，如加热、冷却、压缩等。②原料成本。MTBE 以异丁烯和甲醇为主要原料，原材料成本是总成本的大头，因此提高经济效益的关键在于降低原材料成本，通过优化原料采购策略，提高反应转化率和选择性，优化反应条件，采用先进催化剂，提高原料的转化率，减少原料的浪费，从而降低原料成本。③运营成本。运营成本包括设备维护费用等，可以降低运营优化运营流程，提高设备可靠性和自动化水平，从而增加企业的经济效益。

3.2 设备维护与使用寿命延长带来的效益

设备升级和运行优化使设备磨损和故障频率降低，从而降低设备的运行维护费用，如采用节能型精馏塔的高效热交换器，使设备运行更少了维护次数，并通过优化措施，改善设备的运行状况，延长了设备的使用寿命^[3]。

3.3 产品质量提升带来的经济效益

全面的能耗优化，有助于 MTBE 产品品质的提升，

也有助于满足市场上对于高品质产品的需求，高品质的 MTBE 产品在市场上可以有更高的售价，产品品质的提升，让企业更具市场竞争优势，同时也为市场占有率为增长做出了贡献，在市场占有率提高的情况下，企业的经济效益会进一步提高。

3.4 市场价格和需求

受原油价格、供求关系等多种因素影响，MTBE 市场价格波动较大，因此，需要考虑市场价格的不确定性，进行风险评估，才能进行经济效益分析，了解 MTBE 的市场需求趋势，并对未来需求进行预测，有助于生产计划和市场营销策略的制定，例如，随着环保法规的日益严格，市场对高辛烷值汽油消费量的增加，从而带动 MTBE 需求量的增加。

3.5 投资回报分析

建设和改造 MTBE 装置需要大量的资金投入，设备购置、安装调试、土建工程等费用以及由此产生的折旧和财务费用，都要考虑投资回报分析，对 MTBE 装置的销售收入和利润进行预测依据是生产成本、市场价格和装置产能，投资的经济效益通过计算投资回收期、净现值（NPV）、内部收益率（IRR）等指标进行考核。例如，一套综合能耗较高的传统生产工艺和设备 15 万吨 / 年 MTBE 装置，该厂决定对 MTBE 装置进行综合能耗优化改造，以降低生产成本，提高经济效益，每吨 MTBE 的生产成本通过优化工艺和设备降低了 100 元，每年可节约成本 1500 万元，按年生产能力 15 万吨计算。该装置综合能耗通过应用热集成技术和高效设备，降低 20%，每年可节省 800 万元的能源开支，总投资、投资回收期 1.33 年、内部收益率 45% 的综合能耗优化改造项目，经济效益显著。

4 结论

MTBE 装置综合能耗优化通过工艺改进、设备升级和运行优化、提升产品质量、增加销售收入等措施，有效降低装置综合能耗，节约能源和原材料费用，降低设备维护费用，延长设备使用寿命，促进了企业的经济发展，MTBE 相关生产企业要重视综合能耗优化工作，在市场竞争中积极推行提高企业能效和经济效益、实现可持续发展的相关措施。

参考文献：

- [1] 范硕 .MTBE 装置综合能耗优化措施 [J]. 山西化工 ,2024,44(07):215-217+224
- [2] 杨成恩 .MTBE 装置优化操作实现降本增效 [J]. 石化技术 ,2024,31(03):148-150.
- [3] 闫智斌 .MTBE 生产装置节能降耗优化措施 [J]. 石油石化节能与计量 ,2023,13(12):38-33.