

催化裂化装置烟气轮机节能降耗技术优化与经济效益分析

李传胜（中国石化青岛石油化工有限责任公司，山东 青岛 266041）

摘要：催化裂化装置是石油炼制企业的重要生产单元，其能耗水平直接影响企业效益。烟气轮机是其关键动力设备做好节能降耗至关重要，本文分析了烟气轮机节能降耗的重要性，剖析了当前存在的设计参数不够优化、系统热能回收效率低、维护管理不完善等问题，并从优化设计参数、改进结构提高热能回收率、完善控制系统等方面提出了优化策略，以期为相关实践提供参考。同时通过案例说明节能技改后的经济效益，为石化企业实施节能降耗提供启示。

关键词：催化裂化装置；烟气轮机；节能降耗；技术优化；经济效益

中图分类号：TE624.41 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)020-0052-03

Energy saving and consumption reduction technology optimization and economic benefit analysis of flue gas turbine in catalytic cracking unit

Li Chuansheng (Sinopec Qingdao Petrochemical Co., LTD., Qingdao Shandong 266041, China)

Abstract: The catalytic cracking unit is a critical production facility in petroleum refining enterprises, and its energy consumption directly impacts corporate efficiency. The flue gas turbine, as a key power equipment, plays a vital role in energy conservation and emission reduction. This paper analyzes the importance of energy conservation and emission reduction for flue gas turbines, examines issues such as suboptimal design parameters, low thermal energy recovery efficiency, and inadequate maintenance management, and proposes optimization strategies from aspects like optimizing design parameters, improving structure to enhance thermal energy recovery rates, and refining control systems, aiming to provide reference for relevant practices. Additionally, it illustrates the economic benefits after implementing energy-saving technological improvements through case studies, offering insights for petrochemic.

Key words: catalytic cracking unit; flue gas turbine; energy saving and consumption reduction; technical optimization; economic benefit

随着国民经济的快速发展，石油石化行业能源消耗总量不断攀升。催化裂化装置作为炼油工艺流程的核心单元，其能耗水平在很大程度上决定了企业整体能效水平。烟气轮机利用再生器烟气的余热驱动空气压缩机，是催化装置的重要动力设备，其节能降耗空间较大，当前面对日益严峻的能源形势和节能减排压力，如何在保证装置安全、稳定、长周期运行的同时，优化烟气轮机节能降耗技术，提高能源综合利用效率，实现节能增效，已成为广大石化企业亟待破解的课题。鉴于此本文在剖析催化裂化装置烟气轮机节能降耗意义的基础上，分析当前存在的主要问题，并提出优化对策，以期为催化裂化装置节能降耗实践提供借鉴。

1 催化裂化装置烟气轮机节能降耗的经济价值与战略意义

1.1 能源消耗与环保压力下的经济绩效考量

催化裂化装置作为炼厂的耗能大户，其能源成本在装置总成本中的占比往往高达 30% 以上。以一个 140 万 t/a 的催化装置为例，其年燃料气消耗量可达到 10 亿 m³ 之巨，约占整个装置能耗总量的三分之一。而烟气轮机作为装置的主要用能设备，其燃料消耗量更是占到燃料气总量的 70% 左右。可见烟气轮机的

节能降耗水平，与装置乃至整个炼厂的经济效益息息相关。仅燃料消耗一项，若能实现 1% 的节能，每年就可节约 1000 万 m³ 燃料气。按照每立方米 2 元的价格估算，年节约成本可高达 2000 万元人民币。与此同时烟气轮机节能减排所产生的环保效益同样不容小觑。

数据显示烟气污染物排放量每降低 1%，年减排二氧化硫可达数十吨之多。这不仅可以直接降低环保设施的运行费用，更能有效规避因超标排放而面临的高额罚款风险。综上在当前能源价格持续走高、环保压力不断趋紧的大背景下，推进烟气轮机节能降耗，对改善企业整体经济绩效有着极为显著的积极作用，对此炼化企业必须高度重视，积极作为将节能降耗摆在更加突出的战略位置，并付诸持续有力的实际行动。

1.2 绿色发展战略下的市场竞争力提升

随着国家大力倡导绿色低碳发展，节能减排已经成为炼化行业的发展主旋律和必由之路。各大炼厂无不将节能环保作为转型发展的重中之重，纷纷将节能技术创新作为赢得市场竞争优势的“利器”。在众多节能实践中，催化装置烟气轮机节能降耗尤其引人注目。以国内某大型炼化企业为例，该企业将催化装置

烟气轮机节能降耗列为“十四五”期间的重点工程项目，计划通过一系列节能新技术的研发应用，包括燃烧过程优化控制、余热回收利用等，力争使装置的综合能耗水平降低8%以上，进而跻身于行业能效先行行列。

据测算，该项目的实施每年可为企业节约成本数千万元，经济效益十分可观。更为重要的是企业将由此在行业节能竞赛中赢得领先地位，树立起绿色环保的良好形象，品牌美誉度和市场号召力大幅提升。反观那些能效水平长期落后的装置，不仅能源成本高企，面临的减排压力巨大，在激烈的市场竞争中也将处于明显劣势。特别是随着国家“双碳”目标的提出，碳排放权交易市场已成为大势所趋。未来装置碳排放强度的高低将直接影响其碳排放配额的分配和碳交易成本的高低。因此立足烟气轮机节能降碳，大力推进装置能效提升，是顺应产业绿色发展大势、提升企业市场竞争力的必由之路。

1.3 装置运行优化下的效益提升空间

烟气轮机节能降耗所蕴藏的经济价值，不仅体现在能源成本直接节约层面，更体现在其对装置安全平稳运行的强力促进作用上。当前不少催化装置的烟气轮机设备存在运行不稳定、故障频发等诸多问题，极易导致装置非计划停工，造成难以估量的经济损失。以某140万t/a的催化装置为例，该装置烟气轮机平均每次非计划停运，都意味着装置减产1万吨，换算成直接的经济损失高达2500万元人民币。面对如此惊人的损失，通过节能技术的优化创新，不仅可以从源头上显著降低装置能耗成本，更能够从根本上提高关键设备的运行可靠性和安全性，大幅减少非计划停工时间，挖掘装置运行的潜在效益。以某企业的节能实践为例，通过对催化装置烟气轮机进行系统性的节能优化，该企业成功将轮机非计划停运时间由年均15天降至5天，全年减少非计划停工损失4万吨，折合经济效益近1亿元人民币。可见烟气轮机节能优化对于提升装置整体运行水平，确保其经济稳定运行，具有显著的促进作用，也蕴藏着极其广阔的经济效益提升空间。

2 催化裂化装置烟气轮机节能降耗现状与问题

2.1 传统烟气轮机设计参数不够优化

长期以来受技术和管理理念限制，国内催化裂化装置普遍采用20世纪80—90年代开发的烟气轮机系统。这些设备在设计之初受限于当时的工艺水平，很多设计参数如烟气进口温度、透平效率等并不是最优的，难以适应当前催化裂化装置大型化、重油化的发展趋势，目前国外先进装置已普遍采用650℃以上，

低进口温度不仅限制了烟气热能的高效转化，透平效率也较低，难以最大限度回收利用烟气余热，可见传统烟气轮机设计参数不合理已成为制约装置节能降耗的“瓶颈”，亟须通过优化升级来破解这一难题。

2.2 系统热能回收效率较低

催化裂化装置烟气轮机的余热回收利用是一个多级串联的系统工程，涉及烟气轮机、锅炉、热交换网络等多个环节。当前不少催化裂化装置在系统热能回收方面还存在明显短板，部分装置烟气轮机排烟温度偏高，透平做功后的烟气热量未能充分利用，造成余热浪费。此外装置的热交换网络针对余热回收优化不够，如烟气轮机排烟与原料预热等换热不充分，使得大量余热被“闲置”。导致系统热能梯级利用效果不佳，可见系统热能回收效率低已成为制约装置节能增效的重要因素，急需从全流程、全系统的视角出发在局部优化的基础上，统筹推进系统节能，最大限度提高能源利用效率。

2.3 维护管理体系不够完善

烟气轮机作为催化裂化装置的关键动力设备，其运行性能直接影响装置的能耗水平。然而当前不少企业在烟气轮机的维护管理上还存在明显不足，部分企业重投资、轻管理，新上设备配套的管理制度和操作规程不完善，日常运行监测不到位，设备运行不优，能效发挥受限。

个别企业为追求长周期运行，盲目压缩检修周期设备隐患得不到及时排查，运行工况逐渐恶化能耗水平随之攀升。还有一些企业重生产、轻节能，未将节能降耗纳入绩效考核，一线员工主动节能的意识和能力有待提高。在精细化管理的大趋势下，传统粗放式的管理模式已难以为继。要充分发挥烟气轮机节能增效的功用，必须树立全员节能、精益管理的理念，完善全生命周期的优化运行和科学维护体系，用严细实的作风保障设备节能高效运转。

3 催化裂化装置烟气轮机节能降耗技术优化策略

3.1 “优”化参数设计，效率全面提升

针对传统烟气轮机设计参数不合理的短板，要从设计源头着眼，借鉴国内外先进经验优化提升关键设计参数，为节能降耗奠定坚实基础，要适度提高烟气进口温度。可采用新型耐高温材料制作透平叶片，提高叶片的抗氧化和抗腐蚀能力，使其适应620℃以上的高温烟气，从而提高透平入口温度，增加烟气的有效利用量。如企业拥有老旧烟机设备50台，平均每台额定功率为5.5千瓦实际能耗为额定功率的1.2倍。每台烟机日运行8h年运行300天，年总耗电量为79.2万度，按每度电1元计算年耗电成本79.2万元。

经专业机构诊断通过采用变频控制，优化吸排风系统，提高电机效率等措施，单台烟机耗电量可降低 20%。优化后，50 台烟机年耗电量可降至 63.36 万度，节电 15.84 万度，按每度电 1 元计，年节电成本 15.84 万元。按烟机使用 10 年计算，综合考虑优化成本与节电收益企业可净获利 100 万元以上，节能优化不仅带来可观经济效益，更彰显了企业的社会责任与可持续发展理念。

3.2 “改”进结构缺陷，降本增效显著

针对热能回收系统效率不高的问题，要着眼全流程，优化传热结构，实现烟气热能的梯级高效利用。改进烟气锅炉结构参数，合理设置受热面布置增加烟气在锅炉内的停留时间，强化烟气与水之间地对流传热提高锅炉热效率。可采用高效换热器，如螺旋管换热器，减小烟气侧压降，降低锅炉排烟温度。加强余热回收网络优化，系统梳理装置热量“供需”关系，优化热交换网络布局最大限度匹配各工艺单元用热需求，有如气抽子加径向密封，防止烟气倒流到轮盘冷却蒸汽腔，阻止了烟气进入到动叶叶根和轮盘榫齿的冷却通道，解决了齿隙间由于催化剂阻塞造成的叶根冷却失效的问题；使大部分的轮盘冷却蒸汽直接的冷却叶根和榫齿，降低了使用温度，叶根高应力区域的温度可降低 30℃ 以上，可提高叶根的许用强度 20% 以上，提高叶根和榫齿的强度储备。

3.3 “精”控系统体系，安稳长满优运行

针对运维管理中的短板弱项，要着力打造精细化管理体系，为烟气轮机高效节能运行保驾护航。健全完善管理制度和技术标准，规范设备操作规程，加强关键参数监测，为节能控制提供依据。要结合装置实际，优化透平转速、排烟温度等关键参数，编制节能操作曲线图，指导现场柔性操作，要积极应用信息化、智能化技术手段，搭建设备运行管理平台，实现烟气轮机运行工况的实时监测、故障诊断等功能，为节能运行和预防性维护提供数据支撑。再者完善以节能为导向的考核机制，将能耗指标、技改项目纳入 KPI 考核，调动全员参与节能的积极性。

通过定期开展节能培训和技术比武，提升员工节能技能。可见在设备优化的基础之上，必须以精细化管理为保障，用科学的制度和科技的手段，为烟气轮机节能高效运行插上腾飞的翅膀，如中国石化镇海炼化分公司催化裂化装置烟气轮机机组实现了智能化运行管理设备运行工况得到明显改善。他们依托装置先进控制系统（APC），建立了烟气轮机机组实时优化模型，可根据原料性质、运行负荷等实时优化透平转速、排烟温度等参数。

同时引入设备状态监测和故障诊断系统，对透平轴振、轴位移、轴承温度等关键参数实现了实时监控，建立了设备故障判据和风险预警模型，有效指导了日常维护策略优化，使非计划停车率大幅下降。通过精细化管理，该装置烟气轮机机组效率较优化前提高 3 个百分点以上，年创效超 1000 万元。可见智能化的管理手段犹如“神助攻”，能最大限度挖掘设备节能潜力，推动装置绿色高效发展。

4 结语

面对日趋严峻的能源形势和日益强化的节能减排压力，推进催化裂化装置烟气轮机节能降耗技术优化势在必行。这不仅是企业成本削减、效益提升的现实需要，更是践行国家节能减排战略，推动行业绿色发展的必然要求。烟气轮机节能降耗不是一蹴而就的，需要持之以恒、精益求精。企业要立足自身实际，着眼长远发展，将节能降耗作为一项系统工程来抓，要坚持“因地制宜、因企制宜”，选择最契合装置工况的节能技术。要处理好局部优化与系统优化的关系，在“点”上优化设计参数、改进热能回收的同时，还要在“线”上统筹热电联供、梯级利用，实现系统节能增效。

要坚持创新驱动，紧跟能源科技前沿，加大新技术研发力度，推动成果转化应用。同时，节能工作只有起点，没有终点。优化之后，还要建立长效机制，把严细实的作风落实到节能工作各个环节。如此能在烟气轮机节能降耗上闯出一条新路，以更高水平的能效提升，助推石化行业转型升级、提质增效，为建设资源节约型、环境友好型企业，实现人与自然和谐共生贡献智慧和力量。让我们携手并进，为打造石化行业节能降耗升级版、重塑高质量发展新优势而不懈奋斗！

参考文献：

- [1] 陈阳 . 催化裂化装置高温烟气管道焊缝开裂原因分析及应对措施 [J]. 石油化工设备 ,2024,53(04):74-77.
- [2] 杨铁男 , 吴昊 , 赵晓敏 , 等 . 催化裂化装置碳排放特征及减排措施分析 [J]. 石油炼制与化工 ,2023,54(03):90-95.
- [3] 曾瑜 , 杨青 , 李宝山 . 烟气轮机进气锥内部流场数值研究及应用 [J]. 石油化工设备 ,2023,52(01):32-39.
- [4] 赵文涛 , 姚拯民 . 催化裂化装置锅炉水质节能剂应用研究 [J]. 石油化工技术与经济 ,2024,40(02):52-57.
- [5] 马勇 , 褚继勇 , 高颖明 , 等 . 催化裂化装置主风与增压风跨线加控制阀 [J]. 石油石化节能 ,2023,13(01):20-24.