

Research on Optimization Operation of Steam Pipeline Network in Petrochemical Production Plant

Xiaoying Liu

Xinjiang Wuyun Songhuan Energy Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

Petrochemical production units rely heavily on steam energy within continuous and high-load process systems, and the operational efficiency of steam pipe networks, as a core power-supply system, directly affects energy consumption levels and production stability. The industry is currently confronted with issues such as steam pressure fluctuations, high transmission losses, and insufficient load matching, which continuously increase overall operating costs and disrupt the stable continuity of process flows. By establishing steam demand characteristic models, analyzing the structural features of steam networks, and identifying operational bottlenecks, a solid foundation can be laid for formulating optimized operational strategies. This study aims to enhance steam transmission efficiency, reduce operating energy consumption, and strengthen system safety, thereby providing technical support for refined energy management in petrochemical production units.

Keywords

steam pipe network; petrochemical production unit; energy optimization; transmission efficiency; operational control

石化生产装置蒸汽管网优化运行研究

刘晓英

新疆五韵松环能科技有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

石化生产装置在连续化、高负荷的工艺体系中对蒸汽能源的依赖度较高, 蒸汽管网作为动力保障系统, 其运行效率直接关系到装置能耗水平与生产稳定性。当前行业普遍面临蒸汽压力波动、输配损失偏高、负荷匹配度不足等问题, 使管网的整体运行成本持续增加, 并影响工艺流程的连续稳定运行。通过构建蒸汽需求特性模型、分析蒸汽管网的结构特征、识别运行瓶颈, 可为优化运行策略奠定基础。本文旨在提升蒸汽输配效率、降低运行能耗、增强系统安全性, 为石化生产装置能源精细化管理提供技术支撑。

关键词

蒸汽管网; 石化生产装置; 能源优化; 输配效率; 运行控制

1 引言

石化企业生产过程依赖高品质蒸汽作为核心动力介质, 蒸汽在加热、蒸馏、换热及设备驱动等环节发挥关键作用, 蒸汽管网的运行水平决定着装置的能源利用效率与安全性。随着生产装置规模扩大与能源成本上升, 蒸汽管网的不合理运行导致能耗增加、压力不稳与热损失偏高的问题愈加明显, 传统粗放式管理模式已难以满足现代化石化企业的运行需求。为实现蒸汽系统的高效配置, 需要结合装置蒸汽需求特性、管网结构特点与运行负荷变化, 构建系统化的优化路径。本文围绕蒸汽管网运行特征、主要矛盾及其优化策略展开研究, 以期石化企业提升管网运行效率和生产保障能力提供可操作性的思路与方法。

【作者简介】刘晓英(1988-), 女, 中国陕西榆林人, 本科, 工程师, 从事工业生产过程中的节能减排技术研究。

2 石化企业蒸汽管网的系统构成与运行特征

2.1 蒸汽供应体系结构及主要设备构成

石化企业蒸汽供应体系依托锅炉群、余热利用装置和压力调节设施形成分层供汽结构, 通过主干管、分配管、调压阀门和疏水系统实现各生产区域的蒸汽输送与品质保持。锅炉系统承担基础供汽任务, 余热蒸汽来自加热炉、压缩机和换热装置的能量回收环节, 形成多源并行的供汽格局。蒸汽管网结构需兼顾长距离输送与多节点分配需求, 通过设置稳压器、减温减压装置和凝结水回收设备保持蒸汽压力和温度在适宜范围内。系统运行依赖管网材料、阀门密封性以及疏水装置的灵敏性, 通过完善的监测点布局实现压力、流量及温度状态的持续掌握, 以满足连续化工艺对蒸汽稳定供应的要求。

2.2 蒸汽管网的运行负荷特点与能耗特征

蒸汽管网的运行负荷呈现阶段性波动特点, 与各生产

装置的开停工周期和物料处理节奏密切相关,负荷高峰往往集中在蒸馏、裂解及压缩工段的高能耗作业时段。蒸汽输配过程受管径、管道长度、保温状况和阀门开度影响,产生的压力损失和热损失构成能耗的重要部分。蒸汽在输送过程中因温度下降导致相态变化,引发凝结水比例增大,从而增加疏水负担并降低有效蒸汽量,提升锅炉补充量和燃料消耗。负荷不均会造成压力波动,使部分装置出现供汽偏差,进一步加剧能源消耗。能耗特征表现为锅炉燃料消耗、蒸汽输送损失与凝结水回收率的变化,通过运行参数与监测数据分析可识别关键能耗点,为优化运行提供依据^[1]。

3 石化生产装置蒸汽需求特性分析

3.1 典型生产装置蒸汽用量特征与负荷波动

典型石化装置如蒸馏、裂解、加氢和再生系统在运行中对蒸汽具有显著的阶段性需求,蒸汽用量受到物料性质、加热方式与装置规模的影响。蒸馏塔再沸器通常需要稳定的蒸汽压力和温度,其用量随塔内热负荷变化而波动。裂解和再生工段的加热需求更具冲击性,使蒸汽负荷出现短时峰值。装置开工和切换工况会造成蒸汽需求的大幅变化,影响管网的瞬时压力与流量分布。负荷波动在日常运行中表现为周期性、突发性和联动性,使蒸汽管网需具备一定调节能力以适应压力变化。通过识别典型装置的用汽模式和负荷曲线,可为蒸汽供需平衡与运行策略调整提供支撑。

3.2 蒸汽需求与工艺流程耦合关系

蒸汽在生产流程中承担加热、蒸馏、驱动和保温等多项功能,其需求量随工艺流程的物料流动、热交换环节和反应条件变化而改变。加热器需要恒定蒸汽量维持所需温度,以促进物料预热与反应速率控制;蒸馏塔再沸器蒸汽需求与塔内气液平衡紧密相关;压缩机驱动蒸汽量受负荷变化影响;物料管线保温蒸汽则与环境温度和输送长度相关。若工艺流程变化未能及时反映在蒸汽调配中,会导致压力偏差并影响装置运行稳定性。蒸汽需求与工艺耦合的程度决定了管网调控的响应速度与精准度,通过将工艺参数与蒸汽参数协同分析,可提升供汽匹配度,降低能源损耗,提高系统运行可靠性。

4 石化生产装置蒸汽管网运行中的问题诊断

4.1 蒸汽管网压力波动问题与成因分析

蒸汽管网压力波动表现为局部或整体压力偏差,源于供汽量不足、需求突增、调压阀响应滞后、管道阻力变化以及疏水系统不畅等因素。负荷波动使主干线流量变化较大,若供汽侧未及时调节,容易导致压力在短时间内出现下降或冲高。管道内部结垢、保温老化和弯头过多会增加流动阻力,使压力分布呈现不均状态。部分装置开启或关闭加热设备时引起瞬时用汽变化,导致压力波动加剧。若减温减压装置控制不稳定,会进一步放大压力偏差^[2]。压力波动影响装置温度控制和产品稳定性,是蒸汽管网优化运行中的重要诊断内容。

4.2 蒸汽输送过程热损失与泄漏风险识别

蒸汽在输送过程中与环境存在持续热交换,保温层老化、破损和管线裸露会使热损失增加,造成蒸汽温度逐渐下降并加剧凝结水生成。凝结水占比上升会影响有效蒸汽供应量,增加疏水器负荷并导致换热效率下降。蒸汽泄漏常发生在法兰、阀门、焊缝和疏水器部位,受材料老化、腐蚀和密封失效影响,泄漏不仅造成蒸汽损失,还会导致能耗增加和安全隐患扩大。热损失与泄漏状态可通过温度巡检、压力监测、红外测温 and 凝结水回收数据判断。对输送过程的损失环节进行识别和量化是提升蒸汽系统整体效率的重要前提。

4.3 蒸汽调度不合理导致的能耗偏高问题

蒸汽调度不合理表现为供汽分配滞后、锅炉负荷调整频繁、余热蒸汽未被充分利用、局部管段压力控制偏离需求。调度未能基于实时负荷分布进行精细化调控,会导致锅炉超负荷运行或长时间低负荷运行,从而增加燃料消耗。余热蒸汽回收调度不到位,会使可利用的蒸汽资源被浪费并加重供汽系统负担。部分区域由于调度分配不均出现高压蒸汽溢流,使能量以不可逆方式损失。调度节奏与工艺需求不同步时,会使装置蒸汽供应不足或过剩,引发能耗上升与系统稳定性下降。通过改进调度策略和运行模式可有效降低蒸汽系统能耗。

5 石化生产装置蒸汽管网优化运行技术路径

5.1 蒸汽压力与流量调控的优化策略

蒸汽压力与流量调控需在供需匹配、动态调节和稳定控制之间实现平衡,通过完善调压设备响应能力、提升阀门动作灵敏度和优化主干线分配结构,使压力与流量在各节点保持合理区间。调控策略依托实时运行参数,通过压力分区管理减少局部波动,利用多点监测实现流量分布的动态修正。调节装置的参数整定应结合不同装置的蒸汽需求特性,使调压阀和减温减压系统保持平稳运行。通过合理设置备用调节单元和调整输配路径,可在需求突变时维持系统稳定,减少压力偏差造成的工艺影响。结合凝结水回收量与锅炉供汽量的协调控制,可使管网整体压力场保持均衡,提高蒸汽品质与供给可靠性^[3]。

5.2 蒸汽输配系统节能技术的应用路径

节能技术的应用集中在降低输送损耗、提升保温效果和优化输配工况,通过更换高效保温材料、改善管道外护结构和减少裸露管段,可有效降低热损失。输配路径优化可减少弯头、缩短不必要的输送距离,并利用低阻力阀门减少流动阻力。疏水系统的优化通过高灵敏度疏水器的配置与定期校验,使凝结水能够及时排出,减少汽水混合对输送效率的影响。节能型调节阀、稳压器和流量测量装置的应用可降低能耗偏差,提高输配设备的匹配效率。提高凝结水回收率可降低锅炉补水量和蒸汽再生能耗,使节能路径贯穿输配全过程,推动整体管网运行向低能耗方向发展。

5.3 蒸汽余热回收与再利用系统的优化措施

余热回收系统的优化以提高余热蒸汽的回收量和稳定性为核心,通过对加热炉、压缩机和反应器的排放热源进行梳理,可构建余热蒸汽稳定来源。换热器效率提升有助于提高余热蒸汽品质,使其能够作为稳定热源补充管网供汽。余热再利用需要配置合适的减温减压装置,使回收蒸汽与主蒸汽系统顺利衔接,避免压力冲击与品质波动。优化措施还包括余热蒸汽分级利用,将高品质蒸汽用于核心加热设备,将低品质蒸汽用于保温和驱动环节,实现梯级利用模式。通过调整余热回收系统与锅炉系统的供汽比例,可降低燃料消耗并改善供汽稳定性,使余热利用在整体能源管理中发挥更高价值。

6 石化生产装置蒸汽管网优化运行的保障机制

6.1 蒸汽管网运行监测与数据集成平台建设

监测与数据集成平台通过布设压力、流量、温度及凝结水监测点,实现运行状态的实时采集,为运行调整提供数据基础。平台整合锅炉、输配管线、疏水系统与蒸汽终端用量信息,构建多源数据的集中展示界面,并可对异常波动进行实时预警。通过多参数关联分析技术识别压力偏差、热损失增大及调节滞后等问题,为运行优化提供判断依据。历史数据的趋势分析可反映管网运行规律,为调度策略与设备维护计划的制定提供参考。数据平台的建设有助于实现管网状态的透明化管理,使运行人员能够基于实时信息进行快速决策,进一步提升蒸汽系统的稳定性与经济性。

6.2 优化运行的制度化管理与责任体系构建

制度化管理强调蒸汽管网运行的规范化、流程化与可追溯,通过明确调度流程、运行参数范围与响应措施,使运行控制具备统一标准。责任体系构建以岗位职责划分为基础,涵盖锅炉运行、输配维护、调节控制和监测分析各环节,使每一项任务具有明确责任主体。制度内容包括运行记录管理、异常情况报告机制、参数调整审批程序和设备操作规程,确保各种措施能够在实际工作中落地。通过设定绩效评估指标,可促使各岗位在节能降耗、运行稳定和隐患排查中形成

闭环管理模式^[3]。制度化管理保障蒸汽系统优化策略长期有效执行,为提升运行质量提供制度支撑。

6.3 设备维护、隐患排查及应急处置机制

设备维护机制涵盖定期巡检、精密检修、阀门密封性检测、保温层修复和疏水装置校验,使蒸汽管网保持良好运行状态。隐患排查关注泄漏点、腐蚀部位、压力波动源和调节装置滞后等问题,通过经验排查与指标分析相结合的方式识别风险。应急处置机制包含压力异常快速调整预案、蒸汽泄漏隔离措施、锅炉供汽失衡的快速补偿策略和关键装置的备用供汽通道,确保在突发状况下维持生产安全与稳定。应急演练可提升人员对应急流程的熟悉度,使处置效率得到保证。通过维护、排查与应急的协同运行,可形成全面的保障体系,提高蒸汽管网整体可靠性与运行安全水平。

7 结语

石化生产装置蒸汽管网的优化运行关系能源利用效率、装置安全稳定性与企业运行成本,对提升整体生产保障能力具有关键意义。在系统构成、需求特性、运行问题与优化路径等方面的综合分析表明,蒸汽管网的高效运行依赖于供需匹配、输配节能、余热利用以及调控策略的协调推进,同时还需在监测体系、制度建设与设备维护等方面形成完善的保障机制。通过构建精细化调控模式和系统化运行管理体系,可在保持蒸汽品质稳定的前提下降低能耗水平,提升资源配置效率,为石化企业实现安全、经济、绿色运行提供持续支撑。

参考文献

- [1] 潘志浩,卢黎明,陈俊仰,孙杰,王磊.某石化装置小径管保温层下腐蚀预防与检测评价对策[J].山东化工,2025,54(14):64-67+74.
- [2] 丁道森,宋维强,张龙.某石化装置除氧器溶解氧异常的调整与分析[J].清洗世界,2025,41(04):18-20.
- [3] 范艳斌.石化装置节能技术浅析[J].精细与专用化学品,2023,31(06):54-56.
- [4] 顾梧楠.基于机器学习的石化装置事故预警指导系统构建方法[D].导师:王峰.北京化工大学,2023.