

# 壳牌气化炉运行中的常见问题

李红军

大唐内蒙古多伦煤化工有限责任公司

DOI:10.12238/etd.v6i10.17179

**[摘要]** 本文聚焦壳牌气化炉运行中的常见问题,展开全面深入剖析。先详细阐述其工艺原理,包括采用干法进料与气流床气化技术的结构、工作过程,以及关键工艺参数对稳定运行的重要作用,同时介绍其原料适应性强、转化效率高、环保性能好等技术优势与应用场景。接着从工艺操作、设备故障、安全环保及系统稳定性等方面,系统梳理运行中存在的各类问题。针对这些问题,提出涵盖工艺优化、设备升级维护、强化安全环保措施、完善管理与培训等维度的一系列解决方案与优化策略,旨在为壳牌气化炉稳定高效运行提供有力参考,切实提升其在工业生产中的综合效益。

**[关键词]** 壳牌气化炉; 运行问题; 工艺优化

中图分类号: TQ545 文献标识码: A

## Common Operational Issues in Shell Gasifier Operation

Hongjun Li

Datang Inner Mongolia Duolun Coal Chemical Co., Ltd.

**[Abstract]** This paper focuses on a comprehensive and in-depth analysis of common operational issues in Shell gasifiers. It begins by detailing the process principles, including the structure and working process of dry feed and entrained-flow gasification technology, as well as the critical role of key process parameters in ensuring stable operation. The technical advantages and application scenarios, such as strong feedstock adaptability, high conversion efficiency, and excellent environmental performance, are also introduced. Subsequently, the paper systematically categorizes various operational issues from perspectives of process operation, equipment failures, safety and environmental concerns, and system stability. To address these issues, a series of solutions and optimization strategies are proposed, covering process optimization, equipment upgrades and maintenance, enhanced safety and environmental measures, and improved management and training. The aim is to provide valuable references for the stable and efficient operation of Shell gasifiers and to enhance their overall benefits in industrial production.

**[Key words]** Shell Gasifier; Operational Issues; Process Optimization

### 引言

壳牌气化炉作为先进的煤炭转化设备,凭借干法进料与气流床气化技术,在化工、能源等领域占据重要地位。其具备原料适应性强,可处理多种煤炭及替代原料;转化效率高,碳转化率可达99%以上;环保性能好,避免废水产生且氮氧化物生成量少等显著优势。然而,在实际运行中,受原料特性、操作水平、设备状况等多种因素影响,不可避免地会出现工艺操作波动、设备故障频发、安全环保隐患及系统稳定性差等问题。这些问题不仅影响气化炉的正常运行,还可能导致生产中断、增加成本,甚至引发安全事故。因此,深入研究这些问题并探寻有效的解决策略,对保障气化炉长周期稳定运行、提高生产效益具有至关重要的现实意义。

### 1 壳牌气化炉工艺原理与设备概述

#### 1.1 气化炉结构与工作原理

壳牌气化炉采用干法进料、气流床气化技术,核心结构包括:反应段、激冷段、输气管段、废热锅炉、高温高压飞灰过滤器等关键部件。反应段为高温高压反应空间,内壁敷设耐高温耐火材料和水冷壁,可承受1400-1600℃的高温环境。其工作原理是将经过研磨的干粉煤与氧气按一定比例从气化炉烧嘴喷入,在高温高压条件下发生部分氧化反应,生成以一氧化碳和氢气为主要成分的粗合成气<sup>[1]</sup>。反应过程中,干粉煤与氧气充分混合并迅速燃烧,释放的热量维持气化反应持续进行,生成的粗合成气经废热锅炉回收热量后,进入高温高压飞灰过滤器去除携带的飞灰,飞灰通过锁斗系统排出,净化后的合成气进入后续工

序。整个过程实现了煤炭的高效转化,且采用逆流换热设计提升了能量利用效率。

### 1.2 关键工艺参数

壳牌气化炉的稳定运行依赖于多个关键工艺参数的精准控制。温度方面,气化室反应温度需控制在1400-1600℃,该温度区间既能保证煤炭充分气化,又可避免灰渣熔融结块堵塞设备。压力参数通常设定为4.0-4.2MPa,高压环境可提升反应速率和合成气产量,同时降低后续压缩工序能耗。进料参数中,干粉煤粒径需控制在90%以上通过200目筛网,确保燃烧和气化充分,氧煤比。维持在0.8-1.0,过低会导致氧气不足生成过多炭黑,过高则造成能源浪费。水汽比一般控制在0.3-0.5,合理的水汽比可调节合成气中氢气和一氧化碳的比例,满足不同下游产品需求。此外,气化炉出口合成气温度、飞灰含量等参数也需实时监测调整。

### 1.3 技术优势与工业应用场景

壳牌气化炉凭借其卓越的技术特性,在工业领域展现出强大的竞争力与广泛的适用性。其技术优势显著。在原料适应性方面表现极为出色,不仅能高效处理烟煤、无烟煤、褐煤等各类煤炭,还可兼容石油焦、生物质等替代原料,并且对原料中的灰分、硫分含量具有较高的容忍度,大大降低了原料选择的限制。转化效率上更是领先,碳转化率高达99%以上,合成气有效成分(一氧化碳+氢气)含量超过90%,能源利用效率相较于传统气化技术提升10%-15%。环保性能同样突出,采用干法进料方式,从源头上避免废水产生;高温反应促使硫元素转化为硫化氢,便于后续集中脱硫处理,同时氮氧化物生成量极少,有效减轻对环境的污染。在工业应用场景上,壳牌气化炉十分广泛。化工领域,它是生产甲醇、乙烯、丙烯等基础化工原料的关键设备;能源领域,可用于发电、供热,还能制备天然气、氢气等清洁能源。另外,在冶金行业用于还原气制备,在垃圾焚烧发电领域也有应用。凭借这些优势,它在国内外大型煤化工项目、IGCC(整体煤气化联合循环)电站中得到了大量推广应用。

## 2 壳牌气化炉运行中的常见问题

### 2.1 工艺操作问题

壳牌气化炉运行中易出现的工艺操作问题主要包括进料不稳定、反应温度波动和合成气成分偏离要求。进料不稳定多因给料系统堵塞或干粉煤流动性变差导致,表现为进料量忽高忽低,进而造成气化炉内反应负荷波动,若不及时调整会引发温度和压力突变。反应温度波动通常由氧煤比控制不当引起,当氧气供给量突然增加或煤量减少时,温度会急剧升高,可能损坏耐火衬里;反之则温度降低,导致碳转化率下降,生成大量炭黑<sup>[2]</sup>。合成气成分偏离要求主要与水汽比调整不及时相关,当下游产品对氢气和一氧化碳比例有特定要求时,水汽比过高会使氢气含量升高,过低则一氧化碳占比增加,同时若原料煤质发生变化未及时调整参数,也会导致合成气成分超标,影响后续工序产品质量,增加分离提纯成本。

### 2.2 设备故障与磨损

设备故障与磨损是壳牌气化炉运行中的常见问题,主要集中在气化室耐火衬里、喷嘴、高温高压飞灰过滤器等关键部件。气化室耐火衬里长期处于高温高压环境,受熔融灰渣冲刷和化学腐蚀影响,易出现剥落、开裂现象,若衬里损坏会导致高温气体直接接触水冷壁,造成水冷壁管过热泄漏。喷嘴作为进料核心部件,干粉煤和氧气高速喷出时会对喷嘴出口造成冲刷磨损,同时高温反应会使喷嘴出现高温氧化,磨损后导致进料分布不均,影响反应效果,严重时需停机更换。高温高压飞灰过滤器滤芯在阻力大幅变化时极易断裂造成飞灰穿透影响后系统运行。滤芯在反吹气压力不足时会快速堵塞,造成滤芯阻力上涨影响装置高效运行。锁斗系统的阀门密封件易老化损坏,出现漏气漏灰问题,影响系统压力稳定,增加维护工作量和成本。

### 2.3 安全与环保问题

壳牌气化炉运行中存在的安全与环保问题需重点关注。安全方面,首要风险是气化炉超压,当合成气出口管道堵塞或后续系统负荷骤降时,炉内压力会急剧升高,若安全阀未能及时起跳,可能引发设备爆炸事故。其次是泄漏风险,气化室、管道接头等部位若出现密封失效,高温高压的合成气会泄漏,遇空气易发生燃烧爆炸,同时一氧化碳泄漏会造成人员中毒。环保问题主要包括废气、废渣排放。废气中若脱硫不彻底,会含有硫化氢等有害气体,直接排放会污染大气;废渣主要为气化灰渣,若未妥善处理堆放,灰渣中的重金属等有害物质可能渗入土壤和地下水。另外,系统停车时排放的置换气体若未经处理,也会对周边环境造成影响,需配套完善的尾气处理设施。

### 2.4 系统稳定性问题

壳牌气化炉运行中的系统稳定性问题主要表现为负荷波动、联锁停车和参数协同性差。负荷波动多由上游原料供应不稳定或下游需求变化引起,若负荷调整速度过快,会导致气化炉内反应失衡,出现温度、压力剧烈波动,进而影响合成气质量<sup>[3]</sup>。联锁停车是系统稳定性差的极端表现,当关键参数如温度、压力、液位超出设定范围时,系统会自动触发连锁停车保护机制,频繁停车会造成生产中断,增加重启成本,还可能因温度骤降骤升对设备造成热冲击。参数协同性差主要体现在各控制系统之间配合不当,例如给料系统与氧气供给系统调整不同步,会导致煤氧比失衡;废热锅炉水位控制与气化炉温度控制不协调,会影响热量回收效率和系统整体稳定运行。

## 3 解决方案与优化策略

### 3.1 工艺优化

针对壳牌气化炉工艺操作中存在的原料特性差异大、参数控制不精准、反应效率低等问题,需从原料预处理、参数精准控制和反应过程优化三方面系统推进工艺优化。在原料预处理阶段,采用高效立式研磨设备,通过动态分级筛选技术确保干粉煤粒径分布均匀,将煤粉流动性提升30%以上。建立原料煤质在线检测系统,利用近红外光谱技术实时监测煤的热值、灰分、挥发分等关键指标,数据直接接入DCS系统,为参数调整提供动态依据。参数控制方面,引入智能DCS控制系统,集成多变量预测控制

算法,实现对煤量、氧气量、水汽量等12项关键参数的毫秒级响应调节。通过建立基于神经网络的PID控制模型,将氧煤比控制精度提升至 $\pm 0.5\%$ ,水汽比波动范围缩小至 $\pm 2\%$ ,使气化室温度稳定在1350-1450℃区间,压力波动不超过 $\pm 0.5\text{MPa}$ 。反应过程优化中,采用三维数值模拟优化喷嘴结构设计,将进料混合效率提高25%,反应停留时间延长至8-10秒。针对不同煤质特性,建立动态参数调整模型,当使用高灰分煤时,自动将气化温度提升至1500℃,确保灰渣完全熔融排出,减少设备堵塞风险30%以上,使碳转化率稳定在98.5%以上,合成气有效成分(CO+H<sub>2</sub>)含量达到92%。

### 3.2 设备升级与维护

设备升级与维护是解决壳牌气化炉设备故障频发、磨损严重问题的核心手段。在设备升级方面,将气化室耐火衬里更换为68HR材料,其耐磨系数提升至传统材料的3倍,耐温能力达1650℃。衬里热震稳定性提高40%,使用寿命延长至20000小时以上。对喷嘴实施硬质合金等离子喷涂处理,表面硬度达到HV1200,或更换为双金属复合喷嘴,其抗冲蚀能力提升50%,抗氧化寿命延长至8000小时。开车阶段投煤期间控制密度 $< 250\text{kg/m}^3$ ,激冷气压缩机转速控制5000rpm,防止出现开车过程中对滤芯的冲击。维护方面,建立基于物联网的全生命周期设备管理体系。制定分级巡检制度,日常巡检频次提升至1次/小时,专业检测周期缩短至7天/次。实施预防性维护策略,根据设备运行大数据建立磨损预测模型,对锁斗阀门密封件、过滤器滤芯等易损件实施状态基维护,将设备非计划停机率降低,整体设备运行周期延长。

### 3.3 安全与环保措施

强化安全与环保措施需构建风险防控体系和末端治理网络双重保障。安全措施方面,升级智能安全监测系统,在气化炉本体、管道接头、阀门等关键部位部署。光纤温度传感器和激光泄漏检测仪,实现异常参数10秒内预警。联锁停车逻辑,设置三级报警阈值,配套梯度调整机制,避免因参数波动导致非必要停车。环保措施方面,完善废气处理系统,采用低温甲醇洗-克劳斯联合工艺,将合成气中硫化氢含量脱除至0.1ppm以下,硫磺回收率达99.8%。建立灰渣资源化利用中心,通过分级筛选将灰渣分为粗细两类,粗灰用于生产混凝土掺合料,细灰制成新型保温材料,资源化率达95%。针对系统停车置换气体,增设高能点火火炬系统,配备自动点火和长明灯保护装置,确保有害气体在1100℃高温下完全燃烧,二氧化硫排放浓度低于 $50\text{mg/m}^3$ 。配套建设污

水处理站,采用A2/O+膜生物反应器工艺,处理后的水质达到循环水补充标准,实现废水零排放。

### 3.4 管理与培训

完善的管理体系和专业化的人员培训是保障壳牌气化炉长周期稳定运行的基础。管理方面,构建标准化操作体系,编制涵盖10个操作单元、30项操作步骤的标准化作业指导书,明确各岗位操作权限和责任边界。实施生产过程数字化管控,建立生产数据仓库,集成DCS、SIS等系统数据,通过大数据分析识别运行瓶颈,每月出具优化建议报告。建立设备健康管理系统,对关键设备实施风险评估和寿命预测,制定分级维护策略<sup>[4]</sup>。培训方面,制定“基础+专业+实战”三级培训体系,新员工需完成理论培训、模拟操作和现场跟班。对操作人员开展年度技能复训,重点训练参数调整、异常处理等实战技能,通过VR模拟装置进行事故推演训练。对维护人员实施专项技能认证,要求掌握振动分析、油液检测等预测性维护技术。建立安全能力矩阵,将应急处置技能纳入绩效考核,每季度组织跨岗位联合演练,涵盖煤气泄漏、设备着火等8类典型事故场景,确保全员能在3分钟内完成初期处置,5分钟内启动应急预案,将人为操作失误率降低至0.2%以下,全面提升装置运行可靠性。

## 4 结束语

壳牌气化炉在工业生产中扮演着关键角色,是实现煤炭清洁高效利用的重要设备。但在实际运行过程中,面临着工艺操作不稳定、设备故障磨损、安全环保风险以及系统稳定性差等诸多问题。通过实施工艺优化,精准控制参数、提升反应效率等综合策略,能够有效解决这些常见问题,显著提升气化炉的运行稳定性与效率。未来,随着科技的不断进步,需持续探索创新,进一步优化气化炉性能,使其更好地适应工业发展需求,推动煤炭清洁高效利用迈向新的更高台阶,为工业可持续发展贡献力量。

### [参考文献]

- [1]任智威.壳牌气化炉开车运行常见问题及处理研究[J].山西化工,2023,43(8):130-131,147.
- [2]韩鹏.制约壳牌气化炉长周期稳定运行因素分析[J].化学工程与装备,2022(11):229-230.
- [3]李坡.壳牌气化炉长周期稳定运行技术研究[J].煤化工,2024,52(6):45-47,70.
- [4]叶成亮.壳牌气化炉长周期运行探索[J].云南化工,2023,50(10):104-107.