

# 化工设备故障分析及预防维修措施分析

李富海

盛虹炼化(连云港)有限公司 江苏 连云港 222000

**摘要:** 煤化工设备稳定运行对生产连续性意义重大。本文分析煤化工核心设备分类及运行特性,涵盖反应、分离、输送、储存类设备。探讨故障核心成因,包括介质腐蚀、高温高压工况等。阐述故障诊断关键技术,如振动信号监测、温压参数诊断等。提出预防维修核心措施,如腐蚀防护、高温高压部件检修等。通过系统研究,为保障煤化工设备安全、稳定、长周期运行提供理论支撑与实践指导,助力提升煤化工生产效率与质量。

**关键词:** 煤化工设备;故障分析;预防维修;故障诊断;运行特性

引言:煤化工行业作为能源与化工领域关键组成部分,其生产过程依赖众多复杂设备协同作业。这些设备在高温、高压、强腐蚀等极端工况下运行,面临介质复杂、工况波动大等挑战,故障发生概率较高。设备故障不仅影响生产连续性,增加维修成本,还可能引发安全事故,造成严重后果。因此,深入研究煤化工设备故障成因,掌握故障诊断技术,制定科学有效的预防维修措施,对提升设备运行可靠性、保障煤化工生产安全稳定运行具有迫切的现实需求与重要意义。

## 1 煤化工核心设备分类及运行特性

### 1.1 反应类设备运行特性

反应类设备是煤化工生产核心载体,承担原料转化与中间体合成关键工序<sup>[1]</sup>。运行中需适配多组分介质复杂反应,承受介质组分变化与反应热效应叠加影响,内部温度场、压力场易受反应速率波动干扰,需维持热力学平衡保障效率。运行伴随物料裂解、聚合反应,易产生结焦、积碳恶化内壁工况,结构设计需兼顾反应动力学要求与应力冲击抵御能力。运行稳定性直接决定后续物料品质,对生产连续性影响显著,需通过精准调控实现长周期运行。

### 1.2 分离类设备运行特性

分离类设备用于反应产物分离提纯,保障产品纯度与后续进料质量。运行依托介质沸点、密度等物理性质差异,通过蒸馏、萃取等工艺完成操作,需维持稳定工艺参数,偏移易导致分离效率下降、产品合格率降低。运行面临介质粘度变化、组分波动等问题,易引发内部堵塞、积液,内部构件需具备良好抗磨抗蚀能力以适配多介质交替环境。需实时监控分离效果,通过参数微调优化效率,兼顾精度与能耗控制。

### 1.3 输送类设备运行特性

输送类设备负责全流程物料转运,按介质形态分为

固、液、气三类,运行特性差异明显。液相设备需应对高压高粘度介质,保障压力稳定避免流量波动,压力波动范围需控制在0.1-0.5MPa;气相设备需控制流速,防范冲蚀或介质滞留,流速控制范围在5-20m/s;固相设备易受物料颗粒度、湿度影响,需防范粘附与管道堵塞,物料颗粒度一般控制在0.1-5mm。设备伴随传动部件高速运转,需维持润滑系统稳定以降低阻力与能耗,运行可靠性直接关联生产连续性,任一环节故障可能导致全线停机。

### 1.4 储存类设备运行特性

储存类设备是物料保障核心,用于原料储备、中间体缓存与成品存储,需适配介质易燃易爆、腐蚀性等理化特性,具备对应安全防护能力。大型设备承受介质静压力,罐壁应力分布均匀性关乎运行安全,需实时监控液位、温压参数,防范泄漏与介质变质,液位监控精度需达到±10mm,温度监控精度为±1℃,压力监控精度为±0.01MPa。对易结晶介质需配备伴热系统维持流动性,伴热系统温度控制在40-80℃,密封性能要求严格以杜绝安全隐患与物料损耗,定期排查结构完整性防范介质长期损伤。

### 1.5 关键设备工况适配要求

关键设备工况适配需遵循工艺与性能匹配原则,确保在设计范围内稳定运行。根据介质特性选用适配材质,腐蚀性介质采用耐蚀合金或衬里防护,高温介质选用耐高温材料,运行参数需与工艺精准契合,波动控制在允许阈值内。适配过程需考虑启停、负荷调整等动态过程,避免骤冷骤热与负荷突变引发损伤,优化调节策略提升工况适应性,依托实时参数反馈调整运行状态保障适配精度。

## 2 煤化工设备故障核心成因分析

### 2.1 介质腐蚀与材质劣化成因

煤化工介质含酸、碱、硫化物等腐蚀性物质,长期

接触引发材质腐蚀劣化, 腐蚀类型受介质浓度、温压参数影响显著。硫化物、氯化物易破坏材质钝化膜, 加速腐蚀导致厚度减薄、力学性能下降, 材质选择不当或存在缺陷会进一步加剧劣化<sup>[2]</sup>。介质流动状态影响腐蚀速率, 流速异常易引发局部腐蚀加剧, 腐蚀产物堆积形成腐蚀电池, 最终导致设备结构失效。

## 2.2 高温高压工况诱发成因

高温高压工况易诱发设备故障, 高温使材质强度、韧性下降, 长期服役产生蠕变变形直至结构开裂; 高压导致内部应力集中, 焊缝等薄弱部位易因应力超标受损。温压叠加增强介质腐蚀性, 加速材质老化与抗疲劳能力下降, 工况频繁波动引发交替热应力与机械应力, 逐步形成疲劳隐患。高温下介质易分解聚合产生结焦积碳, 附着内壁导致局部过热, 加剧设备损伤。

## 2.3 磨损疲劳与密封失效成因

机械部件相对运动产生磨损, 磨损程度与接触压力、运动速度、润滑状态相关, 固相输送与构件摩擦引发磨粒、粘着磨损, 导致尺寸精度下降、配合间隙增大。长期磨损加剧应力集中, 诱发疲劳损伤, 密封失效多由密封件磨损、老化、变形导致, 密封面贴合精度不足引发泄漏。介质腐蚀、高温与设备振动会加速密封失效, 二者相互影响, 泄漏加剧磨损、磨损进一步降低密封精度。

## 2.4 操作波动关联故障成因

操作波动源于参数调节不当、流程不规范及控制系统偏差, 直接关联设备故障。参数调节过快引发工况骤变, 剧烈热冲击与机械冲击导致部件变形开裂, 启停、负荷调整无序破坏运行稳定性, 加剧部件损耗。控制系统精度不足或传感器故障导致参数反馈失真, 误操作与应急处理不当会扩大故障范围。长期非稳定运行加快部件疲劳累积, 缩短设备使用寿命。

## 2.5 设备老化性能衰减成因

设备长期服役后, 材质力学性能、部件配合精度与系统效率逐步衰减形成老化。介质侵蚀与温压作用改变材质内部结构, 强度、硬度指标下降, 机械部件长期摩擦振动导致配合间隙增大、运行精度降低, 引发振动噪声异常。电气元件与密封件、衬里等易损部件老化失效, 削弱调控能力与防护性能, 不良工况与滞后维护会加速性能衰减, 诱发故障。

# 3 煤化工设备故障诊断关键技术

## 3.1 振动信号监测识别技术

振动信号监测技术通过采集设备关键部位振动数据, 分析多维度特征参数实现故障诊断。经信号预处理

去除噪声, 提取转子不平衡、轴承损伤等对应特征频率, 采用频谱分析、神经网络等算法解析信号, 识别故障类型、位置与严重程度<sup>[3]</sup>。核心在于构建特征参数与故障模式对应关系, 通过数据训练优化模型提升精度, 实现故障早期预警以保障稳定运行。

## 3.2 温压参数异常诊断技术

温压参数异常诊断技术依托关键部位实时监测数据, 通过参数变化规律判断运行状态。高精度传感器采集温压数据, 建立正常阈值范围, 通过对比识别异常波动, 结合工艺特性与运行规律区分工艺波动与设备故障。采用趋势分析、阈值报警等方法定位故障并评估严重程度, 具备实时性强、操作简便优势, 适用于各类煤化工设备诊断, 诊断响应时间在1-5秒。

## 3.3 油液分析磨损诊断技术

油液分析技术通过检测润滑油理化指标与磨损颗粒特性评估设备磨损状态, 采用光谱、铁谱等方法分析金属颗粒含量、形态, 判断磨损部件与类型。同步检测油液粘度、酸值等指标, 评估油液劣化与润滑系统运行状态, 可区分不同磨损形式并定位磨损部件。能实现磨损故障早期诊断, 为维修决策提供数据支撑, 适用于依赖润滑系统的旋转机械与传动设备。

## 3.4 超声射线故障定位技术

超声射线技术利用穿透特性检测设备内部结构缺陷, 实现精准定位。超声波检测通过分析反射波、透射波识别裂纹、腐蚀减薄等缺陷, 射线检测依托X射线、 $\gamma$ 射线形成内部影像, 直观呈现缺陷状态。技术适用于壳体、焊缝等结构件检测, 精度与穿透力俱佳, 经数字成像优化提升识别准确率, 可检测缺陷尺寸最小达到0.1-0.5mm。操作需遵循安全规范做好辐射防护, 确保检测过程可控。

## 3.5 密封性能泄漏检测技术

密封性能泄漏检测技术排查密封部位故障, 保障运行安全。根据介质与密封结构选择检测方法, 压力衰减法适用于高压部位, 通过监测压力变化判断泄漏程度; 超声法捕捉泄漏超声信号定位漏点, 适配易燃易爆介质; 氦气法凭借高渗透性与灵敏度检测微小泄漏, 满足高精度需求。技术可快速定位泄漏, 为密封优化提供依据, 防范安全隐患。

# 4 煤化工设备预防维修核心措施

## 4.1 腐蚀防护与材质强化措施

腐蚀防护需结合介质特性与设备工况, 采用针对性防护方案<sup>[4]</sup>。选用耐蚀性能优异的材质, 如不锈钢、耐蚀合金、非金属防腐材料等, 替代传统普通材质。对设

备内壁、管道等部位采用衬里防护，如橡胶衬里、聚四氟乙烯衬里等，隔离介质与设备基体接触。实施阴极保护、阳极保护等电化学防护技术，抑制腐蚀反应发生，适用于大型储存设备、长输管道等。定期对设备进行防腐涂层维护，修复破损涂层，保持防护层完整性。优化介质处理工艺，降低介质腐蚀性，如去除介质中硫化物、氯化物等腐蚀性组分。材质强化可通过热处理、表面改性等技术，提升材质硬度、耐磨性与耐蚀性，延长设备使用寿命。

#### 4.2 高温高压部件检修措施

高温高压部件检修需遵循定期检修与状态检修相结合原则，保障部件运行可靠性。定期对高温高压部件进行无损检测，如超声检测、射线检测等，排查内部裂纹、蠕变变形等缺陷。检测部件力学性能，评估材质老化程度，对性能衰减严重部件及时更换。检查高温高压管道接口、焊缝等薄弱部位，排查泄漏隐患，更换老化密封件、紧固件。定期清理部件表面结焦、积碳，避免局部过热引发部件损伤，优化伴热、冷却系统运行状态。检修过程中严格控制装配精度，保障部件配合间隙与密封性能，符合高温高压工况要求。建立检修档案，记录检修数据，为后续检修计划制定提供依据。

#### 4.3 密封润滑系统优化措施

密封润滑系统优化需提升密封可靠性与润滑效果，减少磨损与密封失效故障。选用适配工况的密封件与润滑油品，确保密封件耐温、耐压、耐蚀性能与工况匹配，润滑油品满足润滑、冷却、防腐要求。优化密封结构设计，采用复合密封、迷宫密封等高效密封形式，提升密封性能，减少泄漏风险。定期检查润滑系统油位、油质，及时补充、更换润滑油品，清理润滑系统过滤器、油路，防止杂质进入摩擦副。调整润滑系统压力、流量参数，保障润滑充分，避免润滑不足引发磨损加剧。对密封润滑系统易损部件建立管控机制，提前更换老化部件，防范突发故障。

#### 4.4 运行参数精准调控措施

运行参数精准调控通过优化调控系统与调节策略，维持设备工况稳定。升级自动化控制系统，采用高精度传感器、智能控制器，提升参数采集与调节精度。建立参数优化模型，结合工艺要求与设备性能，确定最优运行参数区间，实现参数精准调节。优化工况调节策略，

避免参数骤变，采用渐进式调节方式，降低设备承受的热冲击与机械冲击。设置参数异常报警机制，实时监测参数变化，及时发出报警信号，便于操作人员及时处理。加强控制系统维护校准，定期校验传感器、控制器精度，确保调控指令准确可靠。通过参数精准调控，减少操作波动引发的故障，提升设备运行稳定性与效率。

#### 4.5 易损部件管控更换措施

易损部件管控更换需建立全生命周期管理机制，提前防范部件失效引发的故障。梳理设备易损部件清单，明确各类部件使用寿命、运行极限参数，建立部件台账。定期对易损部件进行状态检测，评估磨损程度、老化状态，预测剩余使用寿命<sup>[5]</sup>。制定针对性更换计划，结合设备运行工况与部件损耗规律，确定更换周期，避免部件超期服役。储备足量适配的易损部件，保障更换及时性，部件存储需符合存储要求，防止存储过程中性能衰减。更换过程中严格遵循装配工艺规范，保障部件安装精度，提升更换后设备运行可靠性。分析易损部件损耗原因，优化运行工况与防护措施，延长部件使用寿命，降低更换频次。

#### 结束语

煤化工设备故障分析及预防维修措施研究，是保障行业稳定发展的关键环节。通过对设备运行特性、故障成因、诊断技术及预防维修措施的深入剖析，明确了各环节要点与关键方法。在实际生产中，需综合运用这些研究成果，加强设备日常管理与维护，及时排查并消除故障隐患，提升设备整体性能与运行效率。持续优化故障诊断与预防维修体系，为煤化工生产的持续、高效、安全运行筑牢坚实基础，推动行业技术进步与发展。

#### 参考文献

- [1]沈涛.化工设备故障分析及预防维修措施分析[J].石化技术,2024,31(11):166-168.
- [2]马万有.化工设备故障分析及预防维修措施[J].智能建筑与工程机械,2022,4(6):59-61.
- [3]陈林.化工设备故障及预防维修措施分析[J].化纤与纺织技术,2022,51(5):86-88.
- [4]刘云.化工机械设备故障分析及维修管理措施[J].清洗世界,2022,38(4):185-186.
- [5]卢亚州.化工机械设备故障及维修管理措施[J].清洗世界,2022,38(6):179-181.