

# 焦化企业压力容器常见故障及处理策略

郭 梁

山西焦化集团有限公司 山西 临汾 041600

**摘 要:** 压力容器是焦化企业核心承压设备,广泛应用于干熄焦余热锅炉、脱硫塔、氨水分离器等关键工艺环节,其安全稳定运行直接决定焦化装置生产连续性、产品质量及人员与环境安全。焦化生产具有高温高压、介质强腐蚀与易燃易爆等特点,压力容器服役期间易出现腐蚀、疲劳、超压、密封失效等故障,严重威胁安全生产。本文系统梳理焦化企业压力容器常见故障类型,深入剖析失效机理,从设计选材、制造安装、运行操作、检验检测、维护保养、应急处置全生命周期提出综合处理与防控策略,并结合企业基于风险的检验(RBI)实践,实现装置不停车检验与风险分级管控,显著提升安全水平与经济效益,可为同类焦化企业压力容器安全管理提供工程参考。

**关键词:** 焦化企业; 压力容器; 常见故障; 腐蚀; 疲劳; 超压; 处理策略

## 引言

焦化工业是钢铁产业链关键环节,通过高温干馏炼焦煤生产冶金焦炭并回收多种化工产品。这一复杂生产过程依赖大量特种设备支撑,压力容器凭借承压密封的核心功能。但焦化生产特殊性给压力容器安全运行带来挑战:操作工况严苛,高温高压常见;工艺介质具腐蚀性 & 危险性,湿焦炉煤气含多种腐蚀组分,氨水、硫酸等也具强腐蚀性,易致容器失效;生产周期性开停车、负荷波动,使容器承受交变载荷,引发疲劳损伤<sup>[1]</sup>。压力容器一旦泄漏、破裂或爆炸,会造成经济损失,还可能引发火灾等恶性事故。因此,系统研究焦化企业压力容器常见故障、失效机理,制定有效处理与预防策略,对保障安全生产、延长设备寿命、降低运维成本意义重大,本文将围绕此展开论述。

## 1 焦化企业压力容器概述及其工作特点

### 1.1 主要类型与应用场景

焦化企业压力容器类型多样,按功能及工艺环节分三类。热交换与能量回收类,如干熄焦余热锅炉,利用惰性循环气体冷却红焦产生高温烟气生成中高压蒸汽;初冷器和终冷器用于冷却焦炉煤气,内部结构易受煤气杂质影响。分离与净化类,包括脱硫塔、脱氨塔、洗苯塔等,分别去除煤气中硫化氢、氨及回收粗苯,内部介质复杂且腐蚀性强<sup>[2]</sup>。储存与缓冲类,有液氨储罐及缓冲罐等,关乎副产品安全储存和系统运行稳定。

### 1.2 工作环境的特殊性与挑战

焦化企业压力容器工作环境“三高一杂”。高温,如干熄焦、蒸氨工序,加速材料蠕变、氧化和腐蚀;高压,为提高效率或满足下游需求,系统加压运行,对容器承压和密封性能要求高;高危,介质易燃、易爆、有毒、

有害,容器失效易引发连锁灾难事故;介质复杂,工艺流体多相多组分,可能发生化学反应生成更具腐蚀性物质,对容器不同部位造成差异化侵蚀。这种严酷环境使焦化企业压力容器故障模式具鲜明行业特征。

## 2 焦化企业压力容器常见故障类型及成因分析

### 2.1 腐蚀类故障

腐蚀是焦化企业压力容器最常见且危害大的失效形式。脱硫、蒸氨系统中,容器内壁长期接触酸碱水溶液,会引发均匀与局部腐蚀,如湿法脱硫塔底部局部因碳酸形成致均匀腐蚀。应力腐蚀开裂更隐蔽危险,蒸氨塔再沸器等高温浓碱下碳钢易碱脆开裂,含湿 $H_2S$ 环境中易引发硫化物应力腐蚀开裂(SSC)与氢致开裂(HIC)。此外,高速含尘流体与化学腐蚀协同,形成冲刷腐蚀致穿孔泄漏。

### 2.2 机械损伤与结构失效类故障

除腐蚀外,机械损伤也是压力容器失效重要原因。焦化生产频繁开停车、负荷调整,使容器内部压力、温度周期波动,材料受交变应力,在应力集中处萌生扩展疲劳裂纹,干熄焦锅炉汽包等部件易出现此类失效。超压与物理爆炸突发性强,由安全附件失灵、误操作等引发,容器超压会塑性失稳破裂<sup>[3]</sup>。密封失效易引发次生事故,法兰、垫片、螺栓等问题会致介质泄漏。大型设备基础不良发生不均匀沉降,也会加速疲劳裂纹产生,甚至破坏支撑结构。

### 2.3 材料与制造缺陷类故障

压力容器的安全隐患有时也源于其诞生之初。制造或现场组焊过程中产生的未焊透、未熔合、夹渣、气孔、裂纹等焊接缺陷,本身就是潜在的应力集中源,在服役过程中极易成为裂纹萌生的起点,尤其是在腐蚀或疲劳

环境下,会大大缩短容器的使用寿命。同样,如果在采购、验收环节把关不严,导致使用了不符合设计要求的材料,例如在液氨环境中错误地使用了铜合金法兰,或者用普通碳钢代替了耐腐蚀的专用钢板,那么容器在特定工况下将迅速失效,埋下巨大的安全隐患。

#### 2.4 安装缺陷类故障

现场安装过程中的偏差或不当操作亦可诱发压力容器早期失效。例如,设备吊装就位时支座受力不均或基础未找平,导致壳体产生附加弯曲应力;管道与容器接管强行组对,造成局部残余应力集中;热膨胀受限的配管系统在运行中对设备施加过大推力或力矩,易引发法兰泄漏或焊缝开裂;此外,保温施工不规范(如保冷层密封不良)可能加剧外部腐蚀(CUI)。此类安装缺陷虽非材料或制造本身问题,却显著削弱设备结构完整性,成为运行中泄漏、开裂的主要诱因。

### 3 焦化企业压力容器故障的综合处理与预防策略

#### 3.1 源头控制:优化设计与精准选材

##### 3.1.1 针对性选材

设计阶段必须对工艺介质进行详尽的腐蚀性评估。对于湿 $H_2S$ 环境,应严格按照NAC EMR0175/ISO15156等标准,选用抗HIC/SSC的专用钢板。对于高温浓碱液环境,应考虑使用镍基合金或采取可靠的内衬防腐措施。必须严禁在液氨系统中使用任何铜及铜合金部件,以杜绝应力腐蚀开裂的风险。

##### 3.1.2 结构优化

在结构设计上,应遵循“平滑过渡、减少应力集中”的原则。尽量采用整体补强结构代替传统的补强圈,对接管与筒体的连接处进行平滑过渡设计,避免尖锐的几何不连续。对于已知的易发生冲刷腐蚀的部位,如干熄焦锅炉入口,可预先设计增加防冲板或采用耐磨、耐腐蚀的复合衬里,从结构上抵御介质的侵蚀。

##### 3.1.3 冗余与安全裕度

在设计阶段,应结合设备服役环境、介质特性及失效后果,合理设定腐蚀裕量,并依据风险评估结果配置适当的安全保护措施。对于腐蚀速率不确定或工况苛刻的关键承压设备,宜适当增加壁厚裕量,以延长设备使用寿命并保障运行安全。关于安全泄放装置的设置,应严格遵循《GB/T37816-2019承压设备安全泄放装置选用与安装》等标准要求。是否采用冗余配置(如双安全阀)应基于泄放可靠性分析、介质危害性、操作连续性需求及维护条件等因素综合判断<sup>[4]</sup>。例如,在高危险性介质(如液氨)或不允许中断运行的关键系统中,可考虑设置备用安全阀或采用组合式泄放装置(如安全阀+爆破片),

以提高系统整体安全性;但并非所有重要压力容器均强制要求双安全阀配置。

#### 3.2 过程保障:严控制造与安装质量

##### 3.2.1 严格监造

业主单位或第三方监造机构应对压力容器的制造全过程进行严格监督,特别是焊接工艺评定、焊工资格认证、无损检测(包括射线、超声、磁粉、渗透等)等关键质量控制点。必须确保所有焊缝的质量100%合格,从根源上杜绝制造缺陷的产生。

##### 3.2.2 规范安装

必须确保大型设备如球罐、塔器的安装水平度、垂直度符合设计和规范要求。管道配管时应避免强力组对,防止因安装应力过大而在设备接管处产生过高的附加应力。对于大型设备,其基础沉降观测点应按规范设置,并在投用后定期进行监测,及时发现并处理不均匀沉降问题。

#### 3.3 运行管理:精细化操作与实时监控

##### 3.3.1 标准化操作(SOP)

必须制定并严格执行详细的标准化操作规程,涵盖设备的开停车、正常运行、异常工况处置等所有环节。通过严格的培训和考核,杜绝违章指挥和误操作。尤其要重点控制好设备的升降温、升降压速率,避免因操作过快而对设备造成热冲击或产生过大的交变应力,从而有效预防疲劳损伤。

##### 3.3.2 在线监测技术应用

在腐蚀高风险部位,如脱硫塔底部等,可安装固定式超声波测厚探头(间距1.5~2.0m),实现壁厚减薄的实时、连续监控。对于在用的大型球罐、余热锅炉等关键设备,可定期进行声发射(AE)检测(建议每1~3年开展一次声发射检测,高风险工况下每年一次),该技术能有效捕捉到活性裂纹扩展时释放的声波信号,实现对危险性缺陷的早期预警<sup>[5]</sup>。此外,通过在工艺流体中放置腐蚀挂片或电阻探针,可以定量评估当前工况下的实际腐蚀速率。

#### 3.4 检验检测:科学制定检验方案

##### 3.4.1 基于风险的检验(Risk-Based Inspection, RBI)

传统定期检验周期固定且需停车,基于风险的检验(RBI)可分级精准管控,是焦化企业压力容器检验优化方向。2022年我公司联合中国特种设备检测研究院,将RBI技术用于焦化配套甲醇系统47台压力容器检验,划分68个评估单元,覆盖多工段,介质多样,压力温度高。经数据采集等分析,无高风险单元,中高、中、低风险单元分别占14.71%、51.47%、33.82%,仅1台设备轻微减

薄仍安全, RBI实现不停机检验, 效益超700万元。

#### 3.4.2 先进无损检测技术

在具体的检验实施过程中, 除了常规的宏观检查、超声波测厚、磁粉和渗透检测外, 应大力推广和应用先进的无损检测技术。相控阵超声(Phased Array Ultrasonic Testing, PAUT)技术能够对焊缝、接管等复杂几何形状区域进行高精度、高效率的扫查, 并能准确定量缺陷的尺寸和走向<sup>[6]</sup>。导波检测(GW)技术则特别适合对长距离管道或带保温层的容器筒体进行快速筛查, 能有效发现保温层下的腐蚀减薄。数字射线成像(DR/CR)技术相比传统胶片射线, 具有更高的成像质量和评片效率。

### 3.5 维护保养: 主动干预与修复

#### 3.5.1 预防性维护

依据TSG 92—2026要求, 安全阀应每年至少校验一次, 爆破片应按规定周期更换, 紧急切断阀每年至少开展一次功能试验, 确保安全附件灵敏、可靠、有效<sup>[7]</sup>。同时, 要根据工艺特点, 定期组织对设备内部进行清洗, 及时清理结垢、沉积的焦油、萘或盐类结晶, 以减少垢下腐蚀的发生, 保持设备良好的传热和流通性能。

#### 3.5.2 科学修复

对于检验中发现的超标缺陷, 不能简单地采取“一刀切”的报废处理。应委托具备资质的专业机构, 依据API 579/ASME FFS-1等标准, 对缺陷进行安全状况等级评定和合于使用评价(Fitness-for-Service, FFS)。FFS评价能够科学地判断含缺陷设备在当前及未来一段时间内的安全性。根据评价结果, 可以采取多种修复策略, 如对浅表裂纹进行打磨消除, 对局部减薄区域进行堆焊补强或贴补, 对严重损伤的筒节进行更换, 或者在经济性允许的情况下进行整体更新。所有修复工作完成后, 必须进行严格的无损检测验证, 确保修复质量满足安全要求。

#### 3.6 应急管理: 完善预案与演练

依据GB 12710—2024要求, 企业应建立压力容器泄漏、爆炸、煤气中毒等专项应急预案, 定期开展应急演练, 配备专用堵漏与防护装备<sup>[8]</sup>。确保事故状态下可快速

响应、有效处置, 最大限度降低事故后果。

## 4 结语

焦化企业压力容器的安全运行是一项复杂的系统工程, 其面临的故障风险具有高度的行业特异性。腐蚀、疲劳、超压等失效模式相互交织, 对企业的安全管理水平构成了严峻考验。本文通过对常见故障类型的深入剖析, 揭示了各类故障背后复杂的物理、化学、力学等多重成因。本文故障分析与防控策略均以GB/T 150.1~150.4—2024为基础标准, 结合焦化工况特点形成全生命周期管控策略, 强调了从源头设计选材、过程制造安装, 到运行监控、科学检验、主动维护及应急管理的闭环管理理念<sup>[9]</sup>。构建的全生命周期管控策略与RBI实践方法, 可直接推广应用于大中型焦化企业, 对提升压力容器本质安全、实现长周期运行具有重要工程价值。

## 参考文献

- [1]张庆祥.焦化厂压力容器常见故障及解决策略研究[J].石化技术,2025,32(06):414-415.
- [2]尚光荣.焦化机械设备故障诊断技术探究[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(03):118-120.
- [3]沈姣.化工装置压力容器常见故障原因及处理[J].石化技术,2024,31(07):27-29.
- [4]陈贵堂.基于失效模式的在役压力容器检验分析[J].中国设备工程,2026,(03):151-153.
- [5]国家标准化管理委员会. GB/T 37816—2019 承压设备安全泄放装置选用与安装[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [6]中国石油化工集团公司.SH/T 3074—2019 石油化工钢制压力容器[S].北京:中国石化出版社,2019.
- [7]国家市场监督管理总局.TSG 92—2026 承压类特种设备安全附件安全技术规程[S].北京:中国标准出版社, 2026.
- [8]国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB 12710—2024 焦化安全规范[S].北京:中国标准出版社, 2024.
- [9]国家标准化管理委员会. GB/T 150.1~150.4—2024 压力容器[S].北京:中国标准出版社,2024