

水煤浆气化装置的腐蚀与防护

朱 涛

浙江晋巨化工有限公司 浙江 衢州 324000

摘 要: 水煤浆气化装置长期处于高温高压及多腐蚀介质共存的严苛工况, 设备金属基体面临高温氧化、电化学腐蚀、冲刷磨损、应力腐蚀开裂及氢致损伤等多重腐蚀类型的交互作用。本文围绕腐蚀类型及损伤机理展开分析, 探讨工艺介质组分、运行温压条件、设备材质、流体流动状态及结构设计等因素对腐蚀进程的驱动作用, 并从材质选型优化、表面防护处理、工艺介质调控、电化学防护及密封隔离等维度梳理常用防腐蚀技术路径。同时结合腐蚀监测、日常维护、隐患预判、检修规范及长效管理等运维管控手段, 为水煤浆气化装置的防腐蚀工作提供系统性技术参考。

关键词: 水煤浆气化装置; 腐蚀机理; 防腐蚀技术; 运维管控; 高温损伤

引言: 水煤浆气化工艺以高温还原性气氛为反应基础, 伴随大量硫化物、氯化物及氰化物等活性腐蚀组分的生成, 设备金属构件长期暴露于化学侵蚀与机械冲刷的双重作用之下。腐蚀损伤的持续累积直接威胁气化炉壳体、激冷室、工艺管线等核心设备的结构完整性与运行可靠性。深入剖析各类腐蚀类型的形成机理与影响因素, 梳理行之有效的防护技术与运维管控策略, 对保障水煤浆气化装置安全稳定运行具有重要的工程实践价值。

1 水煤浆气化装置腐蚀类型及机理

1.1 高温环境腐蚀

水煤浆气化工艺运行全程维持高温工况, 设备金属基体长期暴露于高温氧化氛围中会发生持续性化学腐蚀反应。高温条件能够活化金属表层原子, 加快金属与工艺体系内氧化组分的反应速率。金属基体与氧化性介质发生反应后会生成多层疏松的氧化产物, 这类产物无法在金属表面形成致密防护屏障^[1]。高温工况持续破坏新生的氧化表层, 让内部金属基体持续接触腐蚀介质, 不断消耗设备金属材料。高温作用还会改变金属内部金相组织结构, 弱化材料固有耐腐蚀能力, 持续推进基体腐蚀损耗进程。

1.2 介质电化学腐蚀

水煤浆工艺流体含有大量溶解性离子与极性物质, 可形成具备导电能力的腐蚀体系。金属构件接触导电介质后, 表面会形成电位不均的微观区域, 自发构成完整的电化学腐蚀回路。金属微观阳极区域会出现金属原子脱溶电离的现象, 阴极区域持续发生介质还原反应。工艺体系内酸性离子与活性腐蚀组分能够加速电极反应进程, 阻碍金属表层钝化结构的生成。电化学持续反应会造成金属基体均匀损耗, 长期运行会逐步降低设备结构厚度与使用性能。

1.3 冲刷腐蚀

水煤浆流体携带固态颗粒高速流经设备与管道内壁, 固相颗粒的冲击作用与流体剪切作用会持续磨损金属表层结构。机械磨损作用会破除金属表面原始钝化层与新生腐蚀产物层, 让新鲜金属基体直接暴露在腐蚀介质环境中。流体流动扰动会加剧介质与金属界面的物质交换, 强化化学腐蚀反应强度。机械磨损与化学腐蚀形成相互促进的作用关系, 大幅提升金属基体腐蚀速率, 造成内壁出现不均匀的腐蚀磨损损伤。

1.4 应力腐蚀开裂

设备加工成型、现场安装以及长期承压运行过程会在金属内部留存残余应力与承载应力。金属晶格在应力作用下会出现结构畸变, 降低晶格结构整体稳定性。腐蚀介质会持续作用于应力集中的金属区域, 沿着晶格缺陷位置逐步侵入基体内部。腐蚀反应持续拓展微观裂隙, 细小裂隙会不断延伸扩张形成宏观裂纹。裂纹持续扩展会破坏金属结构完整性, 引发构件开裂失效, 对气化装置运行稳定性造成不良影响。

1.5 氢致腐蚀损伤

水煤浆气化的化学反应过程会生成大量活性氢原子, 极小的原子体积使其能够穿透金属表层渗入基体内部。氢原子会在金属晶格缺陷、晶界间隙等位置不断聚集, 相互结合形成氢气分子。氢气分子难以穿透金属基体向外扩散, 聚集堆积后会形成局部内压。内压作用会挤压金属晶格结构, 诱发微观裂纹与基体鼓包缺陷。氢元素还会与金属内部碳组分发生反应, 改变金属原有金相结构, 弱化材料力学性能, 造成金属基体出现不可逆的结构损伤。

2 水煤浆气化装置腐蚀影响因素

2.1 工艺介质因素

水煤浆气化体系内的工艺介质组分构成复杂,介质内部各类腐蚀性离子与活性组分的存在状态直接干预腐蚀反应的发展程度。介质内部离子浓度的波动会改变电化学腐蚀的反应速率,离子含量提升会加快金属界面的电荷传递效率,推动阳极溶解过程持续推进^[2]。介质中含有的还原性与氧化性活性组分可直接参与金属界面的化学反应,持续破坏金属表层形成的稳定结构。介质洁净度的变化会改变腐蚀反应的发生强度,杂质组分的持续富集能够强化各类腐蚀反应的发展进程,让金属基体的损耗进程持续加快。

2.2 运行温度压力因素

水煤浆气化系统的运行温压条件为腐蚀反应提供基础动力条件。温度升高会强化介质分子与金属粒子的运动活性,降低腐蚀反应的发生门槛,让各类化学反应可以在金属界面持续快速进行。温度变化还会改变金属材料的组织状态,弱化材料自身的耐腐蚀性能。系统压力的波动会改变介质组分的溶解状态,提升腐蚀性组分在工艺流体中的溶解含量。高压环境能够压缩介质分子间距,增强腐蚀介质对金属微观缺陷的渗透能力,加深金属基体的腐蚀损伤程度。

2.3 设备材质本身因素

设备所用金属材质的金相组织与化学成分决定自身耐腐蚀基础性能。不同金属材料的合金元素配比存在差异,合金元素可以优化金属晶格稳定性,提升基体抵御腐蚀介质侵蚀的能力。材质内部存在的微观缺陷会成为腐蚀反应的优先发生区域,腐蚀介质可沿缺陷位置持续渗入基体内部。晶粒尺寸与晶界分布状态会干预腐蚀扩展速度,晶界结构稳定性较弱的金属材料更易受到腐蚀介质的侵蚀,出现基体损耗与结构破坏的现象。

2.4 流体流动状态因素

工艺流体的流动速度与流动形态会改变金属界面的腐蚀发展规律。流体保持高速流动时会持续冲刷设备内壁,剥离金属表面新生的腐蚀产物,让新鲜基体持续暴露于腐蚀环境中。流动状态紊乱会造成设备局部位置出现流体滞留或涡流现象,腐蚀性组分在局部持续聚集,提升局部腐蚀反应的发生强度。流体运动产生的机械作用会和化学腐蚀作用相互耦合,进一步提升金属基体的腐蚀损耗速度。

2.5 设备结构设计因素

设备整体结构与管路布局设计会间接影响腐蚀的分布与发展程度。结构设计形成的狭小区域与转折位置容易出现流体堆积问题,腐蚀性介质长期积聚加剧局部腐蚀损伤。结构衔接位置易产生应力集中,应力的持续

存在会弱化金属结构稳定性,辅助腐蚀介质侵入基体内部。不合理的结构布局会提升流体流动阻力,强化流体对内壁的冲刷作用,推动各类局部腐蚀问题持续发生发展。

3 水煤浆气化装置常用防腐蚀技术

3.1 设备材质选型优化技术

材质选型优化是防控水煤浆气化装置腐蚀的基础技术手段,依托工况环境匹配对应金属材料可从源头提升设备抗腐蚀能力。结合气化系统高温高压与多腐蚀组分的运行环境,依据介质特性与运行参数筛选适配的合金材料^[3]。合理调整合金体系内部元素配比,利用合金元素稳定金属晶格结构,抑制腐蚀介质对基体结构的侵入与破坏。针对装置不同功能区域的腐蚀差异特性,分区选用适配的耐蚀材料,弱化各类腐蚀反应对金属基体的破坏作用,提升设备本体的运行稳定性与耐久性能。

3.2 表面防护处理技术

表面防护处理技术通过在金属基体表层构建稳定防护层,隔绝腐蚀介质与设备基体的直接接触。依托喷涂、衬覆及钝化等工艺手段,在设备内壁形成致密均匀的防护结构,阻断电化学腐蚀与化学腐蚀的反应通道。防护层结构具备良好的耐高温与耐冲刷性能,可抵御高温介质侵蚀与流体颗粒磨损。持续稳定的表层防护结构能够减少金属基体的暴露概率,弱化工况波动对设备结构造成的损伤,长效延缓基体腐蚀损耗进程。

3.3 工艺介质调控防护技术

工艺介质调控通过优化介质整体状态弱化腐蚀反应的发生条件。调整工艺介质内部组分结构,降低腐蚀性活性组分的富集程度,减少金属界面腐蚀反应的发生载体。规范介质净化处理流程,去除介质中可强化腐蚀反应的杂质离子,弱化电化学腐蚀的反应动力。稳定介质整体理化特性,维持介质内部反应平衡,减少恶劣介质状态对设备金属结构的持续侵蚀,营造适配设备长效运行的工艺环境。

3.4 电化学防护技术

电化学防护技术通过改变金属界面电位状态,抑制金属基体的阳极溶解过程。利用外部电气调控方式调整设备金属结构的电极电位,让金属基体处于钝化稳定区间。电位状态的合理调控可弱化金属界面的电荷传递效率,阻碍腐蚀电化学反应的持续推进。该类技术可适配气化装置各类金属设备的运行工况,有效管控电化学腐蚀与氢致腐蚀的发展速度,保护金属基体结构完整。

3.5 密封与隔离防护技术

密封与隔离防护技术用于阻断外界杂质侵入与介质泄漏引发的次生腐蚀问题。可靠的密封结构可规避工艺

介质外泄,避免介质在设备连接部位堆积积聚。隔离结构可划分介质流通区域,减少腐蚀性介质与设备非工艺接触面的接触概率。优化各类连接部位的密封构造,减少结构缝隙带来的介质滞留问题,抑制局部腐蚀的滋生与扩展,保障装置整体防腐体系的完整性。

4 水煤浆气化装置防腐运维与管控

4.1 装置腐蚀常态化监测方式

水煤浆气化装置长期处于复杂苛刻的运行环境,腐蚀状态的动态监测是保障设备稳定运行的核心环节。通过系统化巡检作业覆盖气化炉、换热设备、工艺管线等各类核心构件,跟踪金属基体壁厚损耗与表层结构破损的发展态势^[4]。采用专业化检测技术探测材料内部微观裂纹与组织损伤,精准定位腐蚀损伤的分布范围与发展程度。持续采集设备运行过程中的状态数据,挖掘工况参数波动与腐蚀发展的内在关联,提升设备腐蚀缺陷的识别精度,为运维方案的制定提供可靠的数据支撑。

4.2 防腐结构日常维护管理

各类防腐防护结构的完好状态直接决定气化设备抗腐蚀能力的存续效果。定期排查设备表层防护涂层、内衬结构及密封构件的完整状态,及时处置表层材料老化、局部脱落、界面破损等各类常见问题。针对腐蚀易发的结构薄弱区域开展专项养护修复,维持设备表层防护体系的整体性与连续性。细化各环节养护作业标准,严控现场操作质量,弱化复杂工艺环境对防护结构的持续损耗,稳固设备长期运行的防腐基础性能。

4.3 腐蚀隐患预判与管控措施

依托装置长期运行积累的状态数据,可精准开展腐蚀风险预判工作。归纳气化系统高腐蚀风险区域的运行特征,掌握腐蚀缺陷萌生、拓展的演变规律。结合不同腐蚀类型的形成机理制定针对性管控策略,有效抑制腐蚀初期的发展趋势。动态更新高风险区域的运行管控标准,弱化极端工艺环境对金属基体的侵蚀作用,从运维管控层面阻断腐蚀缺陷的扩散路径,降低设备结构失效的发生概率。

4.4 设备防腐检修工艺规范

规范化的检修工艺是修复设备腐蚀损伤、恢复构件性能的重要手段。结合水煤浆气化装置高温高压的运行

工况与各类腐蚀损伤特征,搭建标准化检修作业流程,明确不同腐蚀缺陷的修复标准与施工要求。严格执行基体打磨处理、防护层重构、设备结构复原等核心工序,彻底消除设备存在的腐蚀损伤。规范现场检修作业流程,规避施工操作带来的二次损伤,有效恢复设备结构强度与防腐耐受性能。

4.5 防腐体系长效运维管理

系统化的运维模式可实现气化装置防腐工作的常态化落地。整合腐蚀状态监测、日常防护养护、缺陷专项检修等多项工作内容,搭建一体化防腐管理框架。结合装置长期运行产生的工况变化,持续优化运维执行标准,适配设备腐蚀状态的动态变化规律^[5]。细化不同设备、不同管路区域的防腐管控细则,完善全流程运维工作内容,稳步提升装置整体防腐管控水平,有效延长设备安全稳定的运行周期。

结束语

水煤浆气化装置的腐蚀问题牵涉高温化学侵蚀、电化学反应、机械冲刷及氢致损伤等多种机理的耦合叠加,单一防护手段难以全面覆盖全部腐蚀风险。材质选型、表面处理、介质调控与电化学防护等技术手段需要与常态化监测、日常维护及规范化检修紧密衔接,方能构建起完整的防腐体系。将腐蚀管控融入装置全生命周期运维管理,持续跟踪设备状态变化并动态调整防护策略,可有效延缓金属基体损耗速率,维持气化装置长期稳定运行。

参考文献

- [1]唐应彪.水煤浆气化装置的腐蚀与防护[J].河南化工,2022,39(2):34-37.
- [2]杨宏泉,包振宇,许荣发,等.水煤浆气化装置腐蚀问题的调研分析与对策[J].石油化工腐蚀与防护,2023,40(4):21-25.
- [3]王伟.水煤浆气化煤制氢装置开工方案优化[J].炼油技术与工程,2023,53(1):12-16.
- [4]蒋超.水煤浆气化装置洗涤塔出口合成气管道带水问题探讨[J].肥料与健康,2022,49(2):45-50.
- [5]孙道林.水煤浆气化装置耐磨泵选材分析[J].化工设备与管道,2022,59(6):72-77,105.