

# 化工设备防腐蚀管理措施

刘建军 高琳昊 刘晓佳 包学峰

陕煤集团榆林化学有限责任公司 陕西 榆林 719000

**摘要:** 化工设备在复杂工况中易受腐蚀,严重影响生产安全与效率。本文先剖析腐蚀导致设备损坏、生产中断、安全隐患及经济损失等危害,强调防腐蚀对延长设备寿命、保障生产稳定的重要性。接着从化学介质、环境、材料、设备结构设计及工艺操作等方面分析腐蚀成因,最后系统提出材料选择优化、表面处理、电化学保护、工艺操作优化等防腐蚀管理措施,为化工设备防腐蚀提供全面参考。

**关键词:** 化工设备; 防腐蚀; 管理措施

引言: 在化工生产中,设备腐蚀是制约行业发展的关键问题。腐蚀不仅会使设备性能下降、使用寿命缩短,还可能引发泄漏、爆炸等安全事故,造成巨大经济损失与环境危害。随着化工工艺日益复杂,介质腐蚀性增强,防腐蚀管理愈发重要。本文聚焦化工设备腐蚀问题,先阐述其危害与防腐蚀重要意义,再深入分析腐蚀成因,最后提出针对性管理措施,以提升化工设备运行可靠性与安全性,为行业防腐蚀管理提供理论与实践指导。

## 1 化工设备腐蚀的危害与防腐蚀的重要性

### 1.1 腐蚀的危害

化工设备长期处于复杂的化学介质、高温高压等恶劣工况下,腐蚀问题带来的危害不容小觑。在设备层面,腐蚀会导致设备壁厚逐渐减薄,强度持续下降,引发管道穿孔、容器泄漏等问题,使设备失去原有功能,使用寿命大幅缩短。从生产角度看,设备因腐蚀出现故障,将导致生产被迫中断,打乱生产计划,影响产品产量与质量,损害企业信誉。安全方面,严重的腐蚀可能致使储存危险化学品的设备破裂,引发爆炸、火灾、有毒有害物质泄漏等灾难性事故,直接威胁操作人员生命安全,还会对周边生态环境造成严重污染。

### 1.2 防腐蚀的重要性

化工设备防腐蚀管理对化工企业发展至关重要。从设备全生命周期考虑,采取有效的防腐蚀措施,能够减缓设备的腐蚀速率,降低设备损耗,显著延长设备的使用年限,提高设备利用率,减少因设备损坏带来的频繁更换成本。在生产运营环节,防腐蚀可有效减少设备故障与停产次数,维持生产过程的连续性,确保产品质量与产量稳定,提升企业生产效率与市场竞争力。安全保障上,做好防腐蚀工作能避免因设备腐蚀引发的安全事故,为企业营造安全的生产环境,保护人员生命安全和生态环境<sup>[1]</sup>。

## 2 化工设备腐蚀产生的原因

### 2.1 化学介质的影响

化工生产过程中,化学介质是引发设备腐蚀的主要根源。强酸性介质凭借其强大的溶解能力,能够直接与金属发生反应,致使金属表面出现均匀腐蚀现象;强碱性介质则会对金属表面原本起到保护作用的氧化膜进行破坏,从而加速腐蚀进程。氧化性介质与金属相互作用后,会生成不稳定的氧化物,一旦这些氧化物发生脱落,便会引发局部腐蚀。

### 2.2 环境因素的作用

环境因素在设备腐蚀过程中起到了加速作用。在潮湿的环境条件下,设备表面形成的水膜与空气中的成分相结合,构成了电解质环境,这为电化学腐蚀创造了条件。随着温度的升高,化学反应速率加快,介质的腐蚀性也随之增强。工业污染物吸附在设备表面后,会与水发生反应,生成腐蚀性更强的物质。

### 2.3 材料因素的影响

材料自身特性显著影响化工设备腐蚀风险。一方面,材料固有属性至关重要,像普通碳钢在酸、盐环境中易与介质反应而腐蚀;材料成分不均、含杂质或缺陷,会形成腐蚀微电池加速腐蚀,金属组织结构不良也会使晶界易被腐蚀,加工时热处理不当同样削弱抗腐蚀性。另一方面,不同材质金属接触且处于电解质溶液时,会产生电偶腐蚀,如Q345R与316L焊接后置于电解质环境,电位低的Q345R作阳极加速腐蚀,威胁设备结构安全与使用寿命。

### 2.4 设备结构与设计缺陷

设备结构设计不合理是诱发腐蚀的重要因素之一。复杂的设备结构容易形成死角和缝隙,使得介质在这些部位滞留,进而形成浓度差电池,最终导致缝隙腐蚀。焊接过程中产生的缺陷会降低焊缝的耐腐蚀性,使其成

为腐蚀的起始点。此外，流体设计如果存在问题，会导致介质流速不均匀，流速较快的区域容易引发冲刷腐蚀，而流速较慢的区域则会出现垢下腐蚀，对设备的安全运行构成威胁。在涉及不同材料焊接的设备中，结构设计不合理还会加剧电偶腐蚀的危害。例如，若Q345R与316L焊接区域的结构设计未能有效避免电解质的积聚，或者未采取合理的防护措施，电偶腐蚀会更加严重。

### 2.5 工艺操作的影响

不当的工艺操作会进一步加剧设备的腐蚀程度。温度、压力频繁波动会使设备承受交变应力，从而破坏设备表面的保护膜。介质浓度一旦失控，当高腐蚀性介质的浓度超出材料的耐受范围时，设备便会受到严重腐蚀。在开停车过程中，如果操作不规范，设备内残留的介质会在停车期间对设备造成腐蚀。此外，加料顺序错误、搅拌不均匀等情况，容易导致局部介质浓度过高以及反应异常，进而引发局部腐蚀<sup>[2]</sup>。

## 3 化工设备防腐蚀管理措施

### 3.1 材料选择与优化

#### 3.1.1 合理选材

化工设备防腐蚀，合理选材是基础。某大型制药企业在抗生素发酵环节，因发酵液呈强酸性且含有有机溶剂，初期使用普通碳钢材质的发酵罐，不到18个月罐体就出现多处渗漏，严重影响生产。经研究后改用钛合金材质，钛合金凭借其在酸性环境中能快速形成致密钝化膜的特性，使新发酵罐稳定运行6年未出现腐蚀问题，大幅减少了设备更换与维修成本。另一氯碱企业的电解槽系统，因介质中氯离子含量高，原采用的普通不锈钢管道频繁发生孔蚀，更换为双相不锈钢管道后，凭借其优异的抗点蚀性能，管道使用寿命从3年延长至12年，有效保障了生产连续性，体现了合理选材在防腐蚀中的关键作用。

#### 3.1.2 材料性能保障

保障材料性能是防腐蚀关键环节。某石油化工企业在采购大型储罐用钢材时，对供应商提供的材料除要求质量证明文件外，还利用光谱分析技术复检，发现一批钢材锰元素含量低于标准，立即退货处理，避免了潜在的腐蚀风险。在采购用于高温高压反应器的特种合金钢时，企业模拟20MPa压力、550℃高温及强氧化介质的实际工况进行腐蚀试验，发现材料在模拟环境中出现晶间腐蚀现象，果断更换材料供应商。某精细化工企业在采购反应釜用不锈钢板材时，通过金相检验发现板材存在晶粒粗大问题，及时与供应商沟通换货。

### 3.2 表面处理技术

#### 3.2.1 喷砂与喷剂处理

某沿海化工企业的大型储罐群，长期受盐雾侵蚀，罐体表面锈迹斑驳，局部出现腐蚀凹陷，常规刷漆维护效果不佳。企业采用喷砂与喷剂处理技术，先用钢丸高速喷砂，彻底清除锈蚀和氧化层，使罐体表面形成均匀粗糙纹理，增强涂层附着力。随后喷涂环氧富锌底漆和聚氨酯面漆，形成多层防护膜。处理后，储罐抵御腐蚀能力显著提升，原本每年都需局部修补的情况得到改善，连续5年外观完好，未出现大面积锈蚀，有效降低了维护成本，保障了储罐储存安全，凸显该技术在化工设备日常防腐中的高效性。

#### 3.2.2 金属镀层与非金属涂层

某氯碱化工厂的氯气输送管道，长期面临强氧化性氯气和潮湿环境的双重腐蚀威胁，原管道频繁出现穿孔泄漏。该厂采用金属镀层与非金属涂层结合防护，先通过电镀在管道表面沉积一层锌金属镀层，利用锌的牺牲阳极特性保护管道基体；再喷涂耐腐蚀塑料涂层，进一步隔绝氯气与管道接触。改造后，管道腐蚀情况得到根本性改善，运行10年未出现泄漏问题，且内壁光滑无明显腐蚀痕迹。此外，某高温炼化装置的反应釜内壁，采用镀铬层与陶瓷涂层复合防护，镀铬层增强耐磨性，陶瓷涂层抵御高温强腐蚀介质，使反应釜在恶劣工况下稳定运行8年，展现出两类涂层协同防护的卓越效果。

#### 3.2.3 衬里技术

某磷肥厂的磷酸反应槽，长期接触高浓度磷酸和氟化物，腐蚀环境极为苛刻，普通材质设备难以承受，频繁因腐蚀泄漏而停机维修。该厂采用聚四氟乙烯衬里技术，通过特殊工艺将聚四氟乙烯板紧密贴合在反应槽内壁，构建起坚固的物理隔离屏障。改造后，反应槽连续稳定运行10年未出现渗漏，且生产效率大幅提升。另一污水处理厂的中和池，需处理pH值波动大的酸碱废水，采用玻璃钢衬里技术，在池壁形成高强度、耐腐蚀的防护层。使用15年后，经检查衬里层依然完整，设备结构未受腐蚀破坏，充分证明衬里技术在极端腐蚀环境下对设备防护的可靠性和长效性。

### 3.3 电化学保护技术

该厂采用聚四氟乙烯衬里技术，通过特殊工艺将聚四氟乙烯板紧密贴合在反应槽内壁，构建起坚固的物理隔离屏障。改造后，反应槽连续稳定运行10年未出现渗漏，且生产效率大幅提升。另一污水处理厂的中和池，需处理pH值波动大的酸碱废水，采用玻璃钢衬里技术，在池壁形成高强度、耐腐蚀的防护层。使用15年后，经检查衬里层依然完整，设备结构

未受腐蚀破坏,充分证明衬里技术在极端腐蚀环境下对设备防护的可靠性和长效性。

### 3.4 电化学保护技术

#### 3.4.1 阴极保护

阴极保护基于电化学原理,能有效减缓化工设备腐蚀。某天然气长输管道穿越沼泽地带,土壤潮湿且富含电解质,投运后腐蚀严重。采用牺牲阳极法,将镁合金阳极间隔固定于管道,利用其更负的电位优先发生氧化反应,为管道提供电子,形成保护屏障。运行数年后检查发现,管道腐蚀程度远低于未保护区域,有效避免了因腐蚀穿孔导致的气体泄漏风险。另一海上石油平台的钢桩,因长期浸泡海水腐蚀加剧,通过外加电流法阴极保护,外接直流电源使钢桩成为阴极,辅助阳极置于海床,成功减缓钢桩腐蚀,保障了平台结构安全。

#### 3.4.2 阳极保护

阳极保护适用于强氧化性介质环境下的设备防护。某化工厂的不锈钢浓硫酸储罐,在储存98%浓硫酸时,易发生点蚀。采用阳极保护技术,将储罐连接直流电源正极,通过控制电位促使罐体表面形成钝化膜。运行期间,技术人员实时监测电位,确保其处于稳定钝化区。经过多年使用,储罐内壁依然光滑,未出现腐蚀痕迹,相较未采用该技术的储罐,使用寿命大幅延长,有效保障了高危介质储存安全。

### 3.5 介质调整与控制

#### 3.5.1 除氧与脱盐

某发电厂的锅炉系统因原水未处理,溶解氧与盐分含量高,运行不到一年就出现管道氧腐蚀和结垢堵塞问题。采用热力除氧法,将水加热至沸点排出溶解氧,配合反渗透脱盐技术去除金属离子和盐分后,管道内壁不再出现锈迹,结垢现象也显著减少。改造后,锅炉连续运行多年未因腐蚀和结垢导致故障,设备检修频率大幅降低,保障了发电系统的稳定运行。

#### 3.5.2 添加缓蚀剂

某金属加工企业的盐酸酸洗槽,未添加缓蚀剂时,槽体金属与被清洗工件均遭受严重腐蚀。添加有机胺类缓蚀剂后,缓蚀剂迅速在金属表面形成保护膜,有效抑制了盐酸对槽体和工件的侵蚀。原本需要频繁修补的酸洗槽,使用缓蚀剂后维护周期大幅延长,同时被清洗工件的表面质量也得到提升,既减少了设备维修成本,又提高了生产效率。

#### 3.5.3 调节pH值

某电镀厂排放的酸性废水pH值低至2,对厂区下水管

道造成严重腐蚀,管壁变薄甚至穿孔。通过添加氢氧化钠调节废水pH值至中性后,管道腐蚀速度明显减缓。长期监测发现,原本腐蚀严重的管道逐渐停止恶化,表面锈迹不再加深,部分区域甚至恢复平整,有效延长了下水管道的使用寿命,减少了因管道腐蚀泄漏带来的环境污染风险。

### 3.6 工艺操作优化

#### 3.6.1 控制工艺参数

某石化企业的乙烯裂解装置,初期因温度控制不稳定,设备内部的裂解炉管频繁出现局部过热,导致金属表面钝化膜破裂,腐蚀加剧,每半年就需更换部分炉管。企业引入自动化控制系统后,实时监测并精准调节温度、压力和介质流量等参数。当温度接近设定上限时,系统自动启动冷却装置;压力异常时,及时调整压缩机运行状态。改造后,炉管腐蚀速率显著降低,更换周期延长至3年,有效减少了设备维护成本,保障了装置长周期稳定运行。

#### 3.6.2 优化开停车操作

某大型合成氨工厂,以往停车后未对设备进行彻底处理,残留氨气与水分结合形成腐蚀性物质,导致合成塔等设备内部出现局部腐蚀。改进后,停车时严格执行物料排空、氮气置换和干燥处理流程,彻底清除残留介质;开车前,对设备进行全面检查和缓慢升温升压,使设备逐步适应工况变化。优化操作后,设备腐蚀情况明显改善,合成塔检修时发现内部金属表面状态良好,未出现新的腐蚀点,有效延长了设备使用寿命,降低了非计划停车风险<sup>[1]</sup>。

### 结束语

化工设备防腐蚀管理是一项系统工程,涵盖材料选择、表面处理、电化学保护等多维度措施。每一个环节都相互关联、不可或缺,只有将材料优化、工艺控制、设备维护与人员管理紧密结合,构建全方位、多层次的防护体系,才能有效抵御腐蚀威胁。通过持续完善防腐蚀管理策略,不仅能延长设备使用寿命、保障生产安全稳定,更能降低企业运营成本、提升经济效益。

### 参考文献

- [1]程先步.试论石油化工设备防腐的有效措施[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(01):146-147.
- [2]王占德,李学义,张朝峰.浅谈石油化工设备防腐的有效措施[J].企业技术开发,2022,35(03):173-174.
- [3]杨宁,罗安民.化工机械设备被腐蚀的原因及预防策略探讨[J].中国化工贸易,2022,011(013):203-204.