

石油化工设备常见的腐蚀原因及防腐措施探究

郭银龙

(中石化英力士(天津)石化有限公司, 天津 300450)

摘要 石油化工设备在生产运行中面临着严峻的腐蚀挑战, 腐蚀问题不仅会显著缩短设备的使用寿命、降低生产效率, 更可能引发严重的安全事故, 给企业带来巨大的经济损失, 并对社会造成不良影响。本文深入剖析了石油化工设备常见的腐蚀原因, 涵盖环境因素、材料因素、应力因素和微生物因素等多个方面。针对这些复杂多样的腐蚀原因, 系统阐述了相应的防腐措施, 包括材料选择、表面处理、工艺控制、电化学保护以及微生物控制等, 以期石油化工设备的防腐工作提供实践参考。

关键词 石油化工设备; 腐蚀原因; 防腐措施; 材料选择; 电化学保护

中图分类号: TE98

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.022

0 引言

石油化工行业是国民经济的关键支柱产业, 其生产过程涵盖诸多繁杂的化学反应及工艺流程, 需大量不同种类、不同功能设备支撑。石油化工设备运转中时常受到各类腐蚀因素侵害, 这些腐蚀因素互相作用、互相影响, 致使设备性能逐步变差、使用寿命大幅变短。更严重的情形是, 设备遭腐蚀易引发泄漏、爆炸等安全事故, 让企业承受巨大的经济亏损, 甚至对周边环境以及人员生命安全构成严重威胁。因此, 深入探究石油化工设备的腐蚀缘由, 且实施有效的防腐办法, 对石油化工安全生产、稳定生产、高效生产具有重要的现实意义与深远的社会影响。

1 石油化工设备常见腐蚀原因

1.1 环境因素

1. 化学介质腐蚀。石油化工生产所用原料、中间产品及最终产品大多腐蚀性强, 原油含有的硫化物、氯化物、环烷酸等成分, 在特定温度、压力、湿度的条件里, 会与设备金属材料发生化学反应, 进而导致设备腐蚀。以硫化物为例证, 高温环境之中, 硫化物分解会产生硫化氢, 硫化氢呈现出酸性与还原性, 它可与金属起反应生成金属硫化物^[1]。这种金属硫化物的结构相对松散, 易从金属表面脱离, 让金属不断遭受消耗, 继而损害设备。

2. 大气腐蚀。多数石油化工设备露天放置, 空气

所含氧气、水分、二氧化碳等成分会与设备金属表面产生电化学腐蚀反应。在湿润的空气环境里, 金属层会生成一层薄水膜, 氧气和二氧化碳在这层水膜中被溶解, 生成了电解质溶液。金属做阳极会出现氧化反应, 因失去电子而遭腐蚀, 工业大气里存有硫化物、氮氧化物等污染物。

3. 土壤腐蚀。石油化工生产中常见设备类型为埋地管道, 土壤含有的水分、氧气、盐类等成分会与管道金属发生电化学腐蚀反应。土壤成分及性质在不同地区差异明显, 这造成土壤腐蚀性各有差异, 含盐量大、酸性程度高、透气性差的土壤腐蚀性强。在盐分含量高的土壤里, 盐类于管道表面生成电解质溶液, 导致电化学腐蚀, 酸性土壤提供氢离子, 促使金属溶解。土壤透气不好会让氧气供应不均, 管道表面形成了氧浓差电池, 加大局部锈蚀。

1.2 材料因素

1. 材料选择不当。石油化工设备设计与选材时, 要是设备运行环境及腐蚀介质了解不充分, 选用了不抗腐蚀的材料, 会导致设备在使用中易遭腐蚀。在含硫化氢的介质中, 若选用普通碳钢, 鉴于碳钢耐硫化氢腐蚀的性能欠佳, 硫化氢会迅速跟碳钢中的铁起反应, 产出硫化亚铁等腐蚀物, 致使设备迅速被腐蚀穿孔, 影响设备正常工作及使用时长。

2. 材料质量缺陷。材料于生产、加工及运输时或有若干质量问题, 如夹杂、气孔、裂纹等, 这些缺陷

作者简介: 郭银龙(1996-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 过程装备与控制工程。

会引发腐蚀的开端,加大设备的腐蚀,即材料中存在的异类物质会损毁金属的连贯性,促使腐蚀介质更易渗入金属内部。气孔是材料里面含有的气体孔洞,它会给腐蚀介质提供储存及扩散的空间,推动腐蚀的进程。裂纹是材料中的薄弱部位,应力作用下易扩展,同时也会成为腐蚀的渠道,材料的表面状况会对其耐腐蚀特性产生影响^[2]。

1.3 应力因素

1. 工作应力。石油化工设备运转期间要承担各种工作应力,如压力、拉力、扭矩等,工作应力超过材料屈服强度时,材料出现塑性变形,引发设备结构破坏,工作应力将与腐蚀介质一起作用,加剧设备的锈蚀。这种腐蚀称作应力腐蚀,在含有氯离子的介质当中,不锈钢设备受拉应力影响易出现应力腐蚀开裂,氯离子会损害不锈钢表面的钝化膜。把金属置于腐蚀介质里,拉应力施加后,金属内部晶格出现畸变,产生出滑移带。

2. 残余应力。设备制造、加工及安装时会生成残余应力,如焊接残余应力、冷加工残余应力等,残余应力会让材料耐腐蚀性能变差,推动腐蚀出现和发展,尤其是焊缝周边。鉴于焊接过程中局部加热及冷却,会引发较大的焊接残余应力,这些残余应力会让焊缝周边金属呈高能态,易与腐蚀介质发生化学反应,残余应力可增大金属内部的电位差,形成腐蚀电池,造成焊缝产生腐蚀。

1.4 微生物因素

石油化工生产环境里有大量微生物,如硫酸盐还原菌、铁细菌等,设备表面会有微生物附着发育,生成生物膜,生物膜里的微生物通过代谢活动改变设备表面微环境,推动腐蚀现象出现。硫酸盐还原菌于缺氧环境可把硫酸盐还原成硫化氢,金属会与硫化氢发生反应,造成设备锈蚀。铁细菌可把亚铁离子氧化成铁离子,形成氢氧化铁的沉淀。

2 石油化工设备防腐措施

2.1 合理选材

1. 根据腐蚀环境选材。在选择石油化工设备材料时,要充分顾及设备运行环境与腐蚀介质特性,针对不同的腐蚀介质,应选用对应的抗腐蚀材料。在存有硫化氢的介质中,应选取抗硫化氢腐蚀的材料,如不锈钢、镍基合金之类,不锈钢中含铬、镍等元素会在金属表面形成一层密实的氧化膜,阻挡硫化氢与金属进一步反应^[3]。镍基合金在耐腐蚀方面表现更佳,可在更恶劣的硫化氢环境里使用。在含有氯离子的介质当中,应选用抗氯离子腐蚀的材料,如双相不锈钢、

钛合金等。双相不锈钢把奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢优点集于一身,呈现出优良的耐氯离子侵蚀性能以及力学性能。钛合金有着卓越的耐腐蚀特性,能在高浓度氯离子介质中长期应用。

2. 考虑材料的综合性能。除了耐腐蚀性这一特性外,还应顾及材料的其余性能,包含力学性能、加工性能、成本等方面,若设备符合耐腐蚀要求,应择取力学性能佳、加工性能好、成本低的材料,增强设备的性价比。就一些承受较大负载的设备而言,应当选取强度高、韧性优的材料,如低合金高强度钢。低合金高强度钢经由添加少量合金元素,增强了钢的强度与韧性,兼具出色的耐腐蚀性能和加工性能,符合设备的使用标准。针对部分形状繁杂的设备,应选取加工性能良好的材料,铝合金呈现出优良的塑性及可加工性,可通过铸造、锻造、挤压等工艺制造出各类复杂形状的零件。同时拥有一定的耐腐蚀能力,适宜用来制造某些对重量与耐腐蚀性能有需求的设备。

2.2 表面处理

1. 涂层保护。于设备表面涂覆耐腐蚀涂料的做法称为涂层保护,将设备金属与腐蚀介质隔离开,借此发挥防腐功能。常用耐腐蚀涂料包含环氧树脂涂料、聚氨酯涂料、氯化橡胶涂料等。环氧树脂涂料具有良好的附着性、耐化学腐蚀性以及机械性,可用于多种腐蚀环境里。聚氨酯涂料呈现出卓越的耐候性、耐磨性以及耐腐蚀性能,适合户外设备及部分对表面性能要求较高的设备。氯化橡胶涂料具备干燥迅速、施工便捷、耐腐蚀性能优良等优势,一般用于某些中等腐蚀环境中的设备防护。选择涂料时,要综合考量设备运行环境、腐蚀介质性质及施工条件等因素^[4]。

2. 衬里保护。衬里保护是于设备内表面衬一层耐腐蚀的非金属材料,如橡胶、塑料、玻璃钢等,防止腐蚀介质接触设备金属。衬里材料应具备良好的耐腐蚀特性、粘结特性以及机械特性,橡胶衬里呈现出良好弹性以及耐腐蚀性能,可适应设备的形变及振动,一般应用于某些化工设备和储罐的内衬。塑料衬里具有良好耐腐蚀性、质量轻、易安装等优势,应用于一些对重量有规定要求的设备。玻璃钢衬里具备高强度、良好耐腐蚀性能、较好耐温性能等特性,常应用于高温、高压以及强腐蚀环境中的设备。

3. 金属镀层保护。金属镀层保护即于设备表面镀一层耐腐蚀金属,如锌、铬、镍等,增强设备的耐腐蚀性能。一般的金属镀层方式有电镀、化学镀、热喷涂等。电镀运用电解原理给设备表面镀上一层金属镀层,具有镀层均匀、结合力佳等优势,常应用于小型零件及精密设备的防腐处理。化学镀依靠化学反应在设备表面

镀上一层金属膜, 无需额外电源, 可在形状复杂的设备表面生成均匀镀层, 适用在一些难以电镀的设备上。

2.3 工艺控制

1. 降低介质腐蚀性。通过工艺变动减小腐蚀介质腐蚀性, 是预防设备腐蚀的关键举措之一。在原油加工的过程中, 采用“一脱四注”技术, 涵盖原油脱盐、塔顶注氨、注碱、注水与注缓蚀剂, 能切实降低常压塔顶冷凝系统的腐蚀。原油脱盐能把原油中的盐类去掉, 减少设备受盐类的腐蚀。氨在塔顶注入可中和原油中的酸性物质, 提升介质 pH 值, 阻止腐蚀现象出现。注碱能进一步清除介质中的硫化物等腐蚀性物质。注水可让介质浓度变低, 降低腐蚀介质的量。往金属表面注入缓蚀剂可形成一层保护膜, 阻拦腐蚀介质接触到金属, 抑制腐蚀速率。就含硫原油加工而言, 实施加氢脱硫工艺, 减少原油中的硫含量, 减少硫化氢的生成数量, 进而降低设备的腐蚀。加氢脱硫工艺通过高温、高压与催化剂来达成, 把原油中的硫化物转变为硫化氢, 接着借脱硫装置除掉硫化氢, 以降低原油腐蚀性^[5]。

2. 控制设备运行参数。合适的调控设备的运行参数, 如温度、压力、流速等, 可降低设备的腐蚀程度, 同时降低设备的运行温度, 减缓化学反应的速率, 降低腐蚀的速率。多数化学反应的速率受温度影响呈正比, 反应速度变缓, 腐蚀情况会相应减弱。把控介质的流速, 阻止介质对设备表面的冲刷腐蚀, 介质流速要把控在适宜区间, 也不能太低。流速太高会让介质对设备表面的冲刷作用变大, 破坏设备表面的保护膜, 流速太低的话, 介质中的杂质以及腐蚀产物会在设备表面堆积, 造成局部腐蚀情形, 也会增强腐蚀程度。

3. 定期清洗和排污。定期实施设备清洗与排污工作, 可以清理设备表面的腐蚀产物及沉积物, 缩短腐蚀介质在设备表面的留存时长, 以此降低设备的腐蚀程度。就换热器而言, 要定期实施清洗, 除掉换热管表面的污垢, 增进换热功效, 同时还可降低设备的腐蚀程度。换热器运作期间, 介质里的杂质及腐蚀产物会在换热管表面附着, 形成脏污层, 污垢层会让换热效率变低, 还会给腐蚀介质创造隐匿之所, 加速换热管遭受腐蚀。定期对换热器进行清洗, 可以采用化学清洗或者物理清洗办法。化学清洗借助合适清洗剂溶解污垢, 物理清洗运用高压水冲洗、机械清洗等办法来除掉污垢。

2.4 电化学保护

1. 阴极保护。阴极保护通过为被保护设备通直流电流, 把设备变为阴极, 以此抑制设备腐蚀现象。牺牲阳极法与外加电流法是阴极保护的两种方式, 牺牲

阳极法要把电位更负的金属(锌、铝、镁等)与被保护设备相接, 用作牺牲阳极。牺牲阳极不断溶蚀, 向被保护设备供应电子, 实现设备防护, 外加电流法把被保护设备接到直流电源负极, 同时把辅助阳极与直流电源的正极连接起来, 利用外加电流保障设备。

2. 阳极保护。把被保护设备连接到外加直流电源的正极, 让设备表面生出一层细密的氧化膜, 进而阻止腐蚀介质与设备金属的后续反应, 实现设备保护的目标。阳极保护对具有钝化特性的金属适用, 如不锈钢、钛合金这类材料。开展阳极保护时, 要严格掌控设备电位, 使其在钝化范围, 否则会使设备腐蚀加速。

2.5 微生物控制

1. 杀菌处理。采用化学杀菌药剂或物理杀菌手段。去除设备表面微生物, 破坏生物的膜结构, 由此减轻微生物侵蚀。常用化学杀菌剂有氯气、次氯酸钠以及季铵盐等, 紫外线杀菌、超声波杀菌等属于物理杀菌手段。

2. 改善设备运行环境。凭借优化设备的运行环境, 如控制介质的温度、pH 值以及含氧量等, 遏制微生物生长繁殖, 提升介质温度可杀死部分微生物; 使介质的 pH 值降低能抑制硫酸盐还原菌生长, 减少介质内的氧含量, 抑制好氧微生物生长。

3 结束语

石油化工设备遭受腐蚀是复杂状况, 受多种因素作用, 为能切实防范设备遭腐蚀, 应从材料挑选、表面处理、工艺调控、电化学保护与微生物控制等多个方面入手, 采取综合性防腐措施。在实际应用过程中, 要依据设备实际状况及腐蚀环境, 选择合适的防腐办法, 并予以合理组合, 实现最佳的防腐作用。需强化对设备腐蚀的监测及管理, 及时发现与处理设备腐蚀状况, 保障石油化工设备安全稳定高效运转。随着科技的不断发展, 新型防腐技术材料相继涌现, 为石油化工设备的防腐工作提供了更多可选方案。

参考文献:

- [1] 刘琪. 化工设备换热器的常见腐蚀问题与防腐措施探讨[J]. 中国设备工程, 2025(04):185-187.
- [2] 任美霞. 化工设备换热器的常见腐蚀问题及防腐措施探讨[J]. 中国设备工程, 2025(03):151-153.
- [3] 王繁华. 石油化工设备常见的腐蚀原因及防腐措施研究[J]. 中国设备工程, 2024(20):179-181.
- [4] 刘佳菊. 石油化工设备常见的腐蚀原因及防腐策略[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(14):19-21.
- [5] 张睿, 韩军. 石油化工设备常见腐蚀原因及防腐策略实践[J]. 清洗世界, 2023, 39(10):196-198.