

石油化工设备腐蚀原因及防腐管理

魏宁刚 龚 俊

浙江石油化工有限公司 浙江 舟山 316000

摘 要：石油化工设备腐蚀问题严重影响生产安全与效率。材料自身特性、复杂工艺条件、恶劣环境及设备设计制造缺陷是导致腐蚀的主要因素。通过优化材料选择与管理、强化工艺过程控制、改善设备运行环境以及完善设备维护与检测体系等防腐管理策略，能有效降低设备腐蚀风险，提升石油化工企业运行稳定性与经济性，对保障行业可持续发展具有重要意义。

关键词：石油化工设备；腐蚀原因；防腐管理

引言

在石油化工领域，设备的稳定运行至关重要。然而，设备腐蚀现象普遍存在，给生产带来诸多挑战，不仅可能引发安全事故，还会造成巨大经济损失。本文聚焦石油化工设备腐蚀问题，深入剖析材料、工艺、环境及设备设计与制造等方面导致腐蚀的原因，并在此基础上探讨切实可行的防腐管理策略，以期为行业提供有益参考，助力提升设备运行可靠性。

1 石油化工设备腐蚀概述

石油化工设备腐蚀是石油化工行业面临的重大挑战之一。石油化工设备在使用过程中，普遍存在不同程度的腐蚀现象，这主要源于其特殊的运行环境与接触的复杂化学物品。石油化工装置中常放置苯乙烯、苯酚丙酮、氯乙烯等具有腐蚀性质的原料，生产设备接触的酸性催化剂、烧碱生产中的Cl⁻及浓碱液、尿素生产中的甲铵液、烷基苯装置中的氢氟酸等，均为常见的腐蚀介质。从腐蚀机理来看，金属腐蚀按材料种类分为金属腐蚀和非金属腐蚀；按表面形貌分为全面腐蚀和局部腐蚀，局部腐蚀又有小孔腐蚀、应力腐蚀破裂、缝隙腐蚀、电偶腐蚀、磨损腐蚀等。金属腐蚀按机理可分为物理腐蚀、化学腐蚀、电化学腐蚀等。物理腐蚀是材料单纯因物理作用如溶解、渗透引起的破坏；化学腐蚀是金属与非电解质直接发生化学作用引起的破坏，腐蚀过程是纯氧化-还原反应，无电流产生；电化学腐蚀是金属与电解质溶液发生电化学反应而引起的破坏，反应过程中有电子流动，符合电动力学规律。设备腐蚀受多种因素影响。金属材质的设备相比其他材质更易腐蚀，且设备用材种类多，不同金属材料对不同介质的抗腐蚀能力不同。设备自身的优劣也会影响腐蚀程度，如部分企业为节约成本选用低廉材料，易导致大面积腐蚀。设备结构不合理，如存在缝隙、开口、死角等设计结构突变

的位置，也容易引发腐蚀。生产过程中的超压、超温现象，以及设备长时间处于存在金属粒子、不同酸碱度化工溶液、腐蚀性气体等生产环境中，都会加速设备的腐蚀。设备腐蚀不仅会导致设备损坏、降低生产效率，还可能引发安全事故、造成环境污染和人员健康危害，因此采取有效的防腐措施至关重要。

2 石油化工设备腐蚀原因分析

2.1 材料因素

在石油化工设备领域，材料的选择对设备耐腐蚀性能起着关键作用。金属材质由于其原子结构特性，相较于部分非金属材料更易发生腐蚀反应。例如，碳钢在含有水分与氧气的环境中，铁原子易失去电子被氧化，逐渐形成铁锈，导致设备壁厚减薄、强度下降。即便同为金属，不同种类对各类腐蚀介质的抗性也千差万别。像不锈钢，因添加了铬、镍等合金元素，在表面形成一层致密的氧化膜，能有效抵御一般性的酸碱腐蚀，然而在含氯离子的环境中，这层氧化膜可能被局部破坏，引发点蚀现象。对于一些特殊工况，如高温高压且伴有强腐蚀性介质的环境，普通金属材料往往难以胜任，需要选用诸如钛合金、镍基合金等特种合金材料。这些合金凭借其特殊的化学成分与微观组织结构，展现出卓越的耐腐蚀性，但成本也相对高昂。部分企业为控制成本，若选用质量欠佳、不符合工况要求的材料，设备投入使用后，面对复杂的腐蚀介质，短时间内便可能出现大面积腐蚀，严重影响设备的使用寿命与运行稳定性^[1]。

2.2 工艺因素

石油化生生产工艺复杂多样，诸多工艺参数与流程特性对设备腐蚀有着显著影响。生产过程中的超温、超压情况极为不利。以高温为例，温度升高会加快化学反应速率，腐蚀反应也不例外。在高温下，金属原子的活性增强，与腐蚀介质的反应更加剧烈。比如在裂解装置

中,若操作温度超出正常范围,炉管金属材料会加速与管内裂解气中的腐蚀性成分发生反应,导致管壁变薄、穿孔。超压同样危险,过高的压力会使设备材料承受更大应力,在应力集中区域,金属晶格结构易发生畸变,降低材料的抗腐蚀能力,促使腐蚀加速。工艺流体的流速也不容忽视。当流体流速过快时,会对设备内壁产生冲刷作用,若流体中还含有固体颗粒等硬质物质,冲刷腐蚀的危害将更为严重。例如,在管道输送含有砂石颗粒的原油时,高速流动的流体裹挟着颗粒不断撞击管道内壁,会逐渐磨损金属表面的防护层,使金属直接暴露于腐蚀介质中,加速腐蚀进程。生产工艺中涉及的催化剂、添加剂等化学物质,若选择不当或在系统中残留、积聚,也可能引发额外的腐蚀问题。

2.3 环境因素

石油化工设备所处的环境复杂恶劣,是引发腐蚀的重要根源。生产环境中普遍存在的金属粒子,如铁离子、铜离子等,可能通过多种途径进入设备内部。这些金属离子在电解质溶液中会参与电化学反应,加速金属设备的腐蚀。例如,在含有铁离子的酸性溶液中,铁离子可作为阴极去极化剂,促进金属的阳极溶解过程。化工溶液的酸碱度对设备腐蚀影响显著。酸性溶液中大量的氢离子具有强氧化性,易与金属发生置换反应,夺取金属中的电子,造成金属腐蚀。像在酸洗工艺中,若酸液浓度控制不当,对设备的腐蚀损伤将极为严重。碱性溶液虽腐蚀性相对较弱,但在某些特定条件下,如高温高浓度的碱液环境,也会引发金属的碱脆现象,使金属材料的韧性降低,发生脆性断裂。腐蚀性气体也是一大威胁。例如,在石化生产中常见的硫化氢气体,它在潮湿环境下会与金属反应生成硫化物,硫化物膜通常疏松多孔,无法有效阻止金属进一步腐蚀,而且硫化氢还可能导致金属发生应力腐蚀开裂,极大地威胁设备的安全运行^[2]。

2.4 设备设计与制造因素

设备的设计与制造环节对其耐腐蚀性能有着深远影响。从设计层面看,若设备结构存在不合理之处,如存在缝隙、开口、死角等设计结构突变的位置,就容易引发腐蚀问题。缝隙处易形成氧浓差电池,由于氧气在缝隙内外的浓度差异,使得缝隙内金属成为阳极,发生加速腐蚀。开口部位则容易直接接触外界腐蚀介质,增加腐蚀风险。死角区域流体流动不畅,容易造成腐蚀介质的积聚与浓度局部升高,从而加剧腐蚀。在制造过程中,焊接工艺的质量至关重要。若焊接操作不当,焊缝处可能存在气孔、夹渣、未焊透等缺陷,这些缺陷会成

为腐蚀的起始点。因为缺陷部位的金属组织结构与母材不同,电极电位存在差异,在腐蚀介质中易形成微电池,引发电化学腐蚀。设备制造过程中的表面处理工艺也不容忽视。若设备表面粗糙度较大,会增加腐蚀介质的附着面积,且粗糙表面的微观凸起部位易成为阳极,加速腐蚀。而良好的表面处理,如采用抛光、钝化等工艺,可在设备表面形成一层致密的保护膜,有效提升设备的耐腐蚀性能。

3 石油化工设备防腐管理策略

3.1 优化材料选择与管理

(1)在材料选择时,需依据石油化工设备的具体工况进行精准评估。对于接触强腐蚀性介质的部位,优先考虑特种合金材料,如在处理含高浓度氯离子溶液的设备中,选用钛合金能有效抵抗点蚀与缝隙腐蚀,因其表面可形成稳定且致密的氧化膜,阻止氯离子侵蚀。同时,要综合考量材料的性价比,不能单纯因成本因素而牺牲设备的耐腐蚀性能,需在满足性能要求的前提下,寻求成本与质量的平衡。(2)建立严格的材料质量管控流程。在材料采购环节,加强对供应商的资质审查,确保所购材料符合相应的行业标准与设计要求,对每批次材料进行全面的质量检测,包括化学成分分析、力学性能测试以及金相组织检验等,从源头杜绝不合格材料进入设备制造环节。对于已采购入库的材料,要做好存储管理,依据材料特性选择适宜的存储环境,如金属材料应存放于干燥通风处,避免受潮氧化。(3)在设备运行期间,持续跟踪材料的腐蚀状况。通过定期的设备检测,收集材料腐蚀数据,如壁厚变化、腐蚀速率等,基于这些数据对材料的实际耐腐蚀性能进行评估,为后续设备维修、材料更换以及新设备的材料选型提供可靠依据。若发现某种材料在特定工况下腐蚀速率超出预期,应及时分析原因并调整材料使用策略,如更换更合适的材料或采取额外的防护措施。

3.2 强化工艺过程控制

(1)严格控制生产中的温度与压力参数。安装高精度温度监测装置,实时反馈设备内温度数据。一旦温度接近或超出正常范围,自动控制系统即刻启动降温措施,如调节冷却介质流量、降低反应进料量等。针对压力控制,配备可靠的压力传感器与安全阀。压力过高时,安全阀迅速泄压,自动化系统同步调整生产流程,消除压力异常根源,确保设备在安全压力区间运行,减缓超温超压引发的腐蚀。(2)优化工艺流体流速。运用计算流体力学模拟等方法,确定设备各部位最佳流速范围,防止流速过快造成冲刷腐蚀。在管道设计中,合理选择管径、布局管道,

减少流体急弯与突变,降低对管壁的冲击力。对于弯头、三通等易冲刷部位,采用内衬耐磨材料,提升设备抗冲刷能力,延长使用寿命。(3)精细管理工艺化学物质。选用催化剂与添加剂时,充分考量其与设备材料的兼容性,开展全面腐蚀试验,评估不同浓度、温度下对设备的腐蚀影响。针对可能引发腐蚀的化学物质,优化其加入方式与用量,减少在设备内的残留与积聚。例如反应结束后,借助高效分离与清洗工艺,彻底清除设备内残留的腐蚀性物质,降低腐蚀风险^[3]。

3.3 改善设备运行环境

(1)针对生产环境中的金属粒子,采用过滤、离子交换等技术手段进行净化处理。在设备的进料管道上安装高效的金属粒子过滤器,拦截随物料进入设备的金属离子,防止其参与电化学反应加速设备腐蚀。对于已经存在于设备内的金属粒子,可通过定期的清洗与置换操作,降低其在设备内的浓度,减少其对设备腐蚀的促进作用。(2)严格控制化工溶液的酸碱度。安装在线酸碱度监测仪器,实时监测溶液的pH值,当pH值偏离设定的适宜范围时,自动添加酸碱调节剂进行中和调节。例如,在酸性溶液环境中,若pH值过低,自动加入适量的碱性物质提高pH值,降低氢离子浓度,减缓金属的腐蚀速率。对溶液的酸碱度变化进行记录与分析,以便及时发现潜在的腐蚀风险因素并采取相应措施。(3)有效治理腐蚀性气体。对于产生硫化氢等腐蚀性气体的生产环节,加强密封措施,防止气体泄漏扩散。采用气体净化装置,如脱硫塔等,对排放前的气体进行脱硫处理,降低硫化氢浓度。在设备内部,可通过添加缓蚀剂的方式,抑制硫化氢与金属的反应。例如,在含有硫化氢的设备内注入有机胺类缓蚀剂,其分子可吸附在金属表面形成保护膜,阻止硫化氢对金属的腐蚀,营造有利于设备运行的低腐蚀气体环境。

3.4 完善设备维护与检测体系

(1)制定科学合理的设备维护计划。依据设备的类型、运行工况以及以往的维护经验,确定定期维护的周期与内容。日常维护包括设备表面的清洁、润滑,检查设备的连接部位是否松动等。定期深度维护则涉及对设

备内部关键部件的拆解检查,如对换热器的管束进行清洗与检查,及时清除污垢与腐蚀产物,对发现的轻微腐蚀部位进行修复,确保设备始终处于良好的运行状态。

(2)运用多元化的检测技术对设备进行全面检测。采用无损检测方法,如超声波检测可精确测量设备壁厚,及时发现因腐蚀导致的壁厚减薄区域;射线检测能检测设备内部的缺陷,如焊缝处的气孔、夹渣等;腐蚀电位监测可实时反映设备的腐蚀活性。将多种检测技术结合使用,相互补充验证,全面准确地评估设备的腐蚀状况。建立设备腐蚀检测数据库,记录每次检测的数据与结果,以便进行趋势分析,提前预测设备可能出现的腐蚀故障。(3)及时响应检测发现的问题。一旦检测到设备存在腐蚀超标或其他严重问题,迅速启动应急预案。对于轻微腐蚀,可采用现场修复的方式,如补焊、涂覆防护涂层等;对于严重腐蚀且无法现场修复的设备部件,及时安排更换。在更换部件过程中,严格把控新部件的质量与安装工艺,确保更换后的设备性能恢复正常,保障石油化工生产的安全稳定运行^[4]。

结语

综上所述,石油化工设备腐蚀是多因素交织的复杂问题。材料、工艺、环境及设备设计制造等因素相互作用,加速设备腐蚀进程。但通过采取针对性的防腐管理策略,如合理选材、精准工艺控制、环境改善及健全维护检测体系,可显著提升设备抗腐蚀能力。未来,需持续深化对腐蚀机理的研究,不断优化防腐管理手段,为石油化工行业的稳定、高效发展筑牢根基。

参考文献

- [1]周峰.石油化工设备腐蚀原因及防腐管理[J].山西化工,2024,44(3):129-131.
- [2]刘欣宇.石油化工设备腐蚀原因及防腐管理[J].化工管理,2023(11):112-114.
- [3]卞超.石油化工设备腐蚀原因及防腐管理[J].科海故事博览,2024(22):52-54.
- [4]李斐凡.石油化工设备常见腐蚀原因及防腐[J].石油化工建设,2021,43(5):100-101.