

石油化工防腐设计浅析

金鑫

中石化胜利油建工程有限公司 山东 东营 257000

摘要: 石油化工行业在国民经济中地位重要,但设备腐蚀问题频发,给生产、安全及环境等带来诸多不利影响。本文围绕石油化工设备展开,先是剖析常见腐蚀类型,涵盖化学腐蚀、电化学腐蚀与物理腐蚀。随后探讨影响腐蚀的多方面因素,包括环境、材质工艺及操作维护等。重点阐述应对设备腐蚀的系列策略,如合理选材优化设计、运用防腐涂层衬里、使用缓蚀剂、采取阴极保护以及强化设备监测维护等,旨在为提升石油化工设备防腐能力提供参考。

关键词: 石油化工;防腐;设计;浅析

引言: 石油化工产业作为我国经济发展的关键支撑,其生产过程复杂且所处环境恶劣,致使设备腐蚀现象十分普遍。设备腐蚀不仅可能导致生产中断,增加维修成本,还会引发安全事故,威胁人员生命与生态环境。因此,深入研究石油化工设备的腐蚀问题,详细分析其常见腐蚀类型、影响因素,并探索有效的应对策略,对于保障石油化工企业的稳定运行、提高经济效益以及实现可持续发展有着至关重要的现实意义。

1 石油化工设备常见腐蚀类型

1.1 化学腐蚀

化学腐蚀是石油化工设备腐蚀的重要类型之一。它主要是金属与周围介质直接发生化学反应引发。在高温环境下,如加热炉等设备中的金属易与氧气反应,生成金属氧化物,像钢铁氧化形成氧化铁。同时,石油化工原料中的硫化物也会导致化学腐蚀,例如硫化氢能与金属反应生成金属硫化物,其腐蚀产物硫化亚铁结构疏松,无法阻止腐蚀继续,致使设备壁厚不断减薄,强度逐渐降低,严重威胁设备的安全稳定运行以及使用寿命。

1.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀在石油化工设备中极为常见且危害显著。其产生源于金属与电解质溶液构成原电池。在石油化工生产中,设备接触的酸、碱、盐溶液及潮湿环境提供了电解质条件。以碳钢在稀硫酸中为例,碳钢里的铁作为阳极发生氧化反应而溶解,杂质作阴极,溶液中氢离子在阴极得电子析出氢气。在设备焊缝处,因焊接热影响区组织不均形成局部电池,焊缝处常作为阳极优先腐蚀,这种腐蚀形式会使设备在不知不觉中遭受严重破坏,影响生产的连续性和安全性。

1.3 物理腐蚀

物理腐蚀是指金属因单纯物理溶解作用而产生的腐

蚀情况。在石油化工领域,典型的是金属与液态金属或熔盐接触时发生。比如在有汞参与的工艺中,汞会渗入碳钢晶界,削弱晶界强度,导致材料力学性能变差,即“汞脆”现象。在高温盐浴工艺里,熔盐会溶解设备表面金属,改变设备尺寸与形状,破坏其原有结构完整性,进而干扰正常生产流程,增加设备故障风险和维修成本,对企业生产效益产生负面影响^[1]。

2 石油化工设备腐蚀的影响因素

2.1 环境因素

2.1.1 介质的影响

介质性质对石油化工设备腐蚀影响重大。强酸性介质如硫酸、盐酸,能直接与金属反应破坏化学键致其溶解。碱性介质于高温高浓时也可腐蚀金属,像氢氧化钠对铝及其合金的作用。介质中的特殊成分如氯离子、硫化物,即便微量也危害巨大。氯离子可破金属钝化膜引发点蚀等局部腐蚀,在海水冷却系统中常致设备受损。硫化物则使金属生成疏松硫化物产物,加速腐蚀进程,这些均严重威胁设备性能与寿命,影响石油化工生产的安全与稳定。

2.1.2 温度的影响

温度是石油化工设备腐蚀的关键因素。通常,温度上升加快化学反应速率,使腐蚀加速。在化学腐蚀里,高温下金属与介质反应活性增强,如高温氧化速度随温升高而显著加快。于电化学腐蚀而言,升温不仅提速电极反应,还影响溶液导电性与腐蚀产物溶解度。以碳钢在水中为例,初时升温因溶氧扩散加快使腐蚀加速,到一定温度后溶氧减少致腐蚀有下降趋势,但酸性介质中升温仍会增强腐蚀,可见温度影响的复杂性与多样性。

2.1.3 压力的影响

压力对石油化工设备腐蚀的作用较为复杂。高压环

境会使气体在介质中溶解度改变,增强腐蚀性,如高压二氧化碳溶于水成碳酸使水酸性增强而加速金属腐蚀。同时,高压可致金属组织结构变化,像高压氢气环境易引发“氢脆”,氢气渗入金属与碳反应生成甲烷致内应力与脆化,降低抗腐蚀力。此外,压力波动也可能造成设备局部受力不均,在腐蚀介质协同下,加剧局部腐蚀,给设备安全运行带来隐患,影响石油化工生产的连续性^[2]。

2.2 设备材质与制造工艺

2.2.1 材质选择

设备材质的恰当选择对石油化工设备抗腐蚀性能起着决定性作用。不同金属材料在相同腐蚀环境下表现迥异。例如不锈钢因含铬、镍等合金元素,能在氧化性环境形成钝化膜,在硝酸生产设备中表现出良好耐蚀性。而在还原性强的含硫化氢介质中,碳钢可能更具优势。此外,非金属材料如陶瓷、塑料等也可供选择。选材时需综合考量介质性质、温度、压力等多因素,还要兼顾成本与加工性能,平衡抗腐蚀需求与经济实用性,确保设备在复杂工况下长期稳定运行。

2.2.2 制造工艺

石油化工设备的制造工艺深刻影响其抗腐蚀能力。焊接作为常用工艺,若控制不当易产生气孔、夹渣、未焊透等缺陷,这些缺陷破坏金属连续性与均匀性,成为腐蚀起始点,如气孔内介质积聚引发点蚀或缝隙腐蚀。热处理工艺也不容忽视,不当处理会使金属晶粒粗大、残余应力增加,降低抗腐蚀力,例如淬火不当致内应力增大,在腐蚀介质作用下易发生应力腐蚀开裂。故而,优化制造工艺,严控各环节质量,对提升设备抗腐蚀性意义非凡。

2.3 操作与维护管理

2.3.1 操作条件

石油化工设备的操作条件对腐蚀状况有着不可忽视的影响。介质流速过快时,会对设备表面产生冲刷作用,破坏金属表面的保护膜,使得金属持续暴露于腐蚀介质中,加速腐蚀进程,比如在管道输送含固体颗粒的液体时,管道内壁易遭受严重冲刷腐蚀。液位的波动也不容忽视,它会造成设备不同部位干湿交替,这种环境利于腐蚀发生,像原油储罐的罐壁上,干湿交替使其腐蚀程度往往更为严重,因此合理控制操作条件对于减轻设备腐蚀至关重要。

2.3.2 维护管理

维护管理水平直接关联到石油化工设备的抗腐蚀性能与使用寿命。定期的设备检查能够及时察觉腐蚀问

题,以便迅速采取措施处理。例如防腐涂层若出现破损而未及时修复,腐蚀介质将侵蚀金属基体,致使腐蚀迅速蔓延。设备的清洗和保养同样关键,生产过程中残留的污垢、杂质及腐蚀产物若未清理,可能与介质反应产生新的腐蚀因素或形成局部腐蚀环境,所以完善的维护管理制度是保障设备正常运行、减少腐蚀危害的重要手段^[3]。

3 石油化工设备腐蚀的应对策略

3.1 合理选材与优化设计

3.1.1 根据腐蚀环境选材

依据腐蚀环境科学选材是石油化工设备防腐的关键。对于强酸性环境,如硫酸生产装置,哈氏合金等耐酸材料可有效抵御腐蚀;碱性环境下,镍及镍合金、不锈钢较为适用。在含氯离子环境中,含钼不锈钢如 316L 不锈钢因其钼元素能增强抗氯能力而成为优选。选材时亦需兼顾成本与加工性能,大型储罐可采用碳钢内衬防腐材料方案,在保证抗腐蚀性同时控制成本,确保所选材料能在特定腐蚀环境下长期稳定工作,为设备长周期运行奠定基础。

3.1.2 优化设备结构设计

优化设备结构可有效减少腐蚀风险。设计时应避免形状突变与缝隙形成,以减少应力集中与缝隙腐蚀。采用圆滑过渡可降低尖角、凹槽处应力,防止应力腐蚀开裂。对法兰连接等易产生缝隙部位,加强密封或增大间隙可规避缝隙腐蚀,依介质流动特性合理规划管道直径、走向及设备内部结构,防止流速过快或死区出现,从而削减冲刷腐蚀与局部腐蚀几率,延长设备使用寿命,提升石油化工生产系统的整体可靠性与稳定性^[4]。

3.2 防腐涂层与衬里应用

防腐涂层是石油化工设备防护的重要手段。常见的有环氧树脂涂层、聚氨酯涂层、氟碳涂层等。环氧树脂涂层附着力良好,耐化学腐蚀性与机械性能出色,通过涂刷或喷涂等方式能在设备表面构建致密保护膜,广泛应用于化工管道外壁等部位。聚氨酯涂层耐磨性、耐候性及弹性优异,适合有机机械磨损与环境变化的设备表面,如一些运动部件或户外设备。氟碳涂层则具有超强耐候性、耐腐蚀性与自清洁特性,常用于对外观和耐久性要求高的场合,如石油化工企业建筑外表面与储油罐外壁。这些涂层通过隔绝金属与腐蚀介质接触,起到防护作用。但在应用时需注意涂层施工工艺与质量控制,确保涂层均匀、无孔隙,并且要根据设备所处具体环境与工况定期检查和维护涂层,以保证其长效防腐性能。

3.3 缓蚀剂使用

缓蚀剂在石油化工设备腐蚀防控中发挥着重要作

用。其通过抑制金属腐蚀速度来保护设备，作用机理多样，包括吸附成膜、钝化金属表面以及抑制阳极或阴极反应等。在不同腐蚀环境下，需针对性地选用缓蚀剂。例如在酸性介质中，有机胺类缓蚀剂如苯胺、乌洛托品等可有效吸附在金属表面，形成保护膜，阻碍酸性介质侵蚀。在中性介质中，磷酸盐类缓蚀剂如三聚磷酸钠、六偏磷酸钠等能与金属离子反应，生成难溶磷酸盐保护膜。缓蚀剂的使用方式灵活，可直接加入介质，也可借助缓释装置定点投放。使用时，必须精准控制其浓度、温度及介质性质等参数，通过严谨实验确定最佳使用条件与添加量，以达到理想的缓蚀效果，保障设备在复杂化工环境中的稳定运行，延长设备使用寿命，降低企业维护成本。

3.4 阴极保护技术

阴极保护技术是石油化工设备防腐的有效措施，尤其适用于埋地管道、储罐底板等处于电解质环境的金属结构。该技术分为外加电流阴极保护和牺牲阳极阴极保护两种。外加电流阴极保护系统由直流电源、辅助阳极、参比电极和被保护金属结构构成。直流电源输出电流，经辅助阳极导入电解质溶液，使被保护金属获得电子，抑制阳极反应，从而防止腐蚀。例如长输埋地原油管道，通过沿线铺设辅助阳极实现阴极保护。牺牲阳极阴极保护则利用比被保护金属更活泼的金属，如镁合金、铝合金、锌合金等作为牺牲阳极，与被保护金属相连。在电解质中，牺牲阳极优先氧化溶解，为被保护金属提供电子，使其成为阴极而免受腐蚀，如小型储罐底板采用镁合金牺牲阳极进行防护，可有效延长设备使用寿命，确保石油化工生产的安全性与连续性。

3.5 加强设备监测与维护

3.5.1 腐蚀监测技术

腐蚀监测技术对于石油化工设备至关重要。常见的有电化学方法、物理检测方法和化学分析方法。电化学方法中的线性极化电阻法，通过测量极化电阻计算腐蚀电流密度，能快速简便地在线监测腐蚀速度，广泛应用于设备腐蚀监控。交流阻抗谱法虽设备复杂、数据分析难，但可提供更多腐蚀过程信息。物理检测方法的超声波测厚法，依据超声波传播时间测定金属厚度，可定期检测设备壁厚变化，判断腐蚀程度，操作简单且精度较

高。射线检测法可检测内部腐蚀缺陷，不过因射线有害需严格遵守安全规定。化学分析方法借助分析介质中金属离子含量、酸碱度、溶解氧等参数，间接推断设备腐蚀状况。综合运用这些监测技术，可全面、精准地掌握设备腐蚀动态，为及时采取防腐措施提供依据。

3.5.2 定期维护与保养

定期维护与保养是石油化工设备防腐的关键环节。企业应建立完善制度，定期检查设备。对于防腐涂层和衬里，要查看其完整性，一旦发现破损，及时修复或重新涂覆，确保防护层持续有效。采用缓蚀剂防腐的设备，需定期检测缓蚀剂浓度并适时补充，以维持其缓蚀效果。同时，要对设备内部进行周期性清洗，去除污垢、杂质与腐蚀产物，防止其与介质反应引发新的腐蚀问题或形成局部腐蚀环境。此外，还需检查设备连接部位是否松动、密封是否良好等，对易损部件及时更换。通过全面、细致的定期维护与保养工作，可有效延长设备使用寿命，保障石油化工生产的安全、稳定与高效运行^[5]。

结束语

石油化工设备的防腐设计是保障行业可持续发展的关键要素。通过深入剖析常见腐蚀类型、精准把握影响因素，并实施针对性的应对策略，可有效降低设备腐蚀风险，延长设备使用寿命，确保生产的安全性与稳定性。合理选材与优化设计奠定基础，防腐涂层与衬里提供防护屏障，缓蚀剂、阴极保护技术协同作用，加之强化监测与维护及时发现并处理问题。未来，仍需持续探索创新防腐技术与方法，以适应石油化工行业不断发展的需求，推动其在高效、安全、环保的道路上稳健前行。

参考文献

- [1]艾山江.吐尔逊.石油化工设备常见腐蚀原因及防腐措施[J].化工设计通讯.2018(2):25-26.
- [2]于志刚.我国石油化工机械设备腐蚀因素分析[J].化工管理,2018,(02):229-230
- [3]丁高宋.石油化工设备腐蚀原因分析及应对措施[J].石化技术,2017,24(5):76-78
- [4]何养联.油气储运中的管道防腐措施分析[J].科技风,2019,(34):147-148
- [5]徐清海.石油管道的防腐现状及解决对策[J].全面腐蚀控制,2019,33(06):87-89.