

化工设备换热器的常见腐蚀探讨

马云

国家能源集团宁夏煤业烯烃二分公司 宁夏 银川 750411

摘要: 化工设备换热器腐蚀类型多样, 成因复杂, 介质性质、操作条件、材料性能等均影响其腐蚀。防护上可合理选材、优化结构、进行表面处理, 并采取突破性措施应对垢下腐蚀。监测维护方面, 可通过外观检查等多种方法监测, 做好日常清洗、规范操作, 腐蚀后及时修复并验证效果, 确保设备稳定运行。

关键词: 化工设备; 换热器; 腐蚀类型; 腐蚀成因; 防护措施

引言: 在化工生产体系中, 换热器作为热量传递与交换的核心设备, 其稳定运行至关重要。然而, 化工介质复杂的化学性质和强腐蚀性, 使换热器在长期运行中面临多种腐蚀威胁, 如均匀腐蚀、点腐蚀、缝隙腐蚀等。不同腐蚀类型成因各异, 且受介质性质、操作条件、材料性能等多种因素影响。为保障换热器安全高效运行, 需深入了解其腐蚀类型、成因, 并采取合理选材、优化设计等防护措施, 同时做好监测与维护工作。

1 化工设备换热器常见腐蚀类型及成因

在化工生产的复杂体系中, 换热器作为实现热量高效传递与交换的核心设备, 其稳定运行对于保障整个生产流程的连续性、提升产品质量以及降低能源消耗具有至关重要的作用。然而, 化工介质通常具有复杂的化学性质和较强的腐蚀性, 这使得换热器在长期运行过程中不可避免地会遭受各种类型的腐蚀, 不同类型的腐蚀有着独特的形成原因, 对换热器的性能和寿命产生不同程度的影响。(1) 均匀腐蚀: 均匀腐蚀是化工设备换热器常见腐蚀类型, 表现为换热器表面整体均匀受蚀、金属逐渐变薄, 这主要由介质对金属表面的全面侵蚀所致。化工生产中常用的酸、碱、盐溶液等介质化学性质活泼, 以硫酸介质为例, 硫酸生产时换热器长时间与之接触, 其中的氢离子活性强, 会与金属表面原子反应, 使金属原子溶解, 导致金属均匀减薄。随着腐蚀持续, 换热器壁厚减小、承压能力下降, 影响换热效率, 若不防护, 最终可能引发生产事故与经济损失。(2) 点腐蚀: 是典型的局部腐蚀之一, 多发生在金属表面有缺陷或钝化膜被破坏的部位。在特定介质环境中, 如含有氯离子的溶液, 氯离子具有较小的半径和较高的活性, 能够轻易穿透金属表面形成的钝化膜。这些有缺陷的部位成为腐蚀的起始点, 在电化学作用下, 腐蚀会集中在这些点上不断加深, 形成小孔。随着时间的推移, 小孔会逐渐扩大, 甚至穿透换热器壁, 引发介质泄漏。一旦发

生泄漏, 不仅会造成介质的浪费和生产成本的增加, 还可能对环境造成污染, 甚至引发安全事故。(3) 缝隙腐蚀: 也是常见的局部腐蚀形式, 常出现在换热器的法兰连接、垫片与设备接触等缝隙处。在这些缝隙内, 介质流动不畅, 容易形成浓差电池。由于缝隙内外的介质成分和浓度存在差异, 会导致电位差, 从而引发电化学腐蚀。例如, 在含有氧气的介质中, 缝隙内的氧气浓度较低, 而缝隙外的氧气浓度较高, 形成了氧的浓度差。氧气浓度高的区域金属电位较高, 作为阴极; 氧气浓度低的区域金属电位较低, 作为阳极, 发生氧化反应而被腐蚀, 导致局部腐蚀加剧。(4) 垢下腐蚀: 垢下腐蚀是化工换热器中较为突出的一种腐蚀形式。在换热器运行过程中, 介质中的杂质、微生物、盐类等会在金属表面逐渐沉积形成污垢。这些污垢层不仅会降低换热器的传热效率, 还会在垢层与金属表面之间形成特殊的微环境。由于垢层的存在, 介质在垢层下的流动受到阻碍, 导致垢层下的氧气浓度降低, 与垢层外形成氧浓度差, 从而形成氧浓差电池。垢层下的金属作为阳极, 失去电子被氧化, 发生腐蚀反应; 而垢层外的金属作为阴极, 受到保护。同时, 垢层下的微生物在代谢过程中会产生酸性物质, 如硫化氢、有机酸等, 这些酸性物质会进一步腐蚀金属。此外, 垢层中的盐类在特定条件下会发生水解, 产生具有腐蚀性的离子, 加速金属的腐蚀过程。垢下腐蚀往往发展迅速, 且难以察觉, 一旦发现, 可能已经造成了较为严重的设备损坏。(5) 冲刷腐蚀: 当高速流动的介质携带固体颗粒或气泡时, 会对换热器的金属表面产生机械冲刷和腐蚀作用。在流速较高的部位, 如换热管入口处, 这种腐蚀尤为明显。高速流动的介质携带的固体颗粒不断撞击金属表面, 破坏金属表面的保护膜, 使金属直接暴露在腐蚀性介质中, 加速了腐蚀进程^[1]。

2 影响化工设备换热器腐蚀的因素

2.1 介质性质

在化工生产的复杂工况下, 介质性质堪称影响换热器腐蚀的核心关键因素, 其中化学成分和浓度起着决定性作用。从化学成分来看, 不同介质有着截然不同的腐蚀机制。酸性介质里, 氢离子展现出极强的化学活性, 它会积极与金属表面的原子发生反应, 夺取金属原子中的电子, 促使金属逐渐溶解, 进而破坏金属的微观结构与整体性能。碱性介质则主要将“攻击目标”锁定在金属表面的氧化膜上, 它能破坏氧化膜的结构完整性, 使金属失去这层天然的保护屏障, 加速腐蚀进程。而含氯离子等活性离子的介质危害尤为突出, 氯离子能轻松穿透金属表面的钝化膜, 在局部引发点蚀和缝隙腐蚀, 严重威胁换热器的安全运行。此外, 介质浓度的影响也不容忽视。在一定范围内, 随着介质浓度升高, 腐蚀速率会加快; 但当部分介质浓度达到特定值后, 腐蚀速率反而会下降, 这背后的机理值得深入探究。

2.2 操作条件

在化工生产的复杂体系里, 操作条件是影响换热器腐蚀的关键要素, 其中温度、压力和介质流速的影响尤为显著。(1) 温度对换热器腐蚀起着多维度作用。一方面, 温度升高会依据阿伦尼乌斯定律加快化学反应速率, 使腐蚀反应进程加剧, 金属的溶解速度加快。另一方面, 高温可能破坏金属表面形成的钝化膜, 让金属直接暴露在腐蚀性介质中, 同时还会改变介质的物理化学性质, 如黏度、溶解度等, 进一步影响腐蚀过程。(2) 高压环境下, 介质的渗透能力大幅增强。介质能够更容易地渗透到金属表面的微观缺陷中, 在局部形成浓差电池, 从而引发局部腐蚀, 这种腐蚀往往具有隐蔽性和突发性, 对设备安全威胁极大。(3) 介质流速对腐蚀的影响具有两面性。流速过高时, 会对金属表面产生强烈的冲刷作用, 导致冲刷腐蚀, 不断剥离金属表面的保护层; 流速过低则会使介质中的杂质沉积, 形成局部腐蚀环境, 引发沉积物下腐蚀^[2]。

2.3 材料性能

换热器金属材料性能是其抗腐蚀能力的核心决定因素。不同材料的耐蚀性存在显著差异, 以不锈钢为例, 在中性或弱腐蚀性介质中, 它能凭借表面形成的钝化膜展现出良好的耐蚀性, 但遇到氯离子时, 钝化膜会被破坏, 进而引发点蚀, 严重威胁换热器的结构完整性。钛材虽具有极强的耐蚀性, 可抵抗多种强腐蚀介质, 然而高昂的成本限制了其广泛应用。此外, 金属材料的组织结构也对腐蚀有着重要影响。当晶粒大小、合金元素分布不均匀时, 材料内部会形成局部电位差, 构成腐蚀电池, 加速局部腐蚀的发生, 大幅降低换热器的使用寿命

与运行可靠性。

3 化工设备换热器腐蚀的防护措施

3.1 合理选择材料

换热器设计与选材时, 要综合考量多方面因素合理选金属材料, 确保其抗腐蚀性能良好。需精准掌握接触介质性质, 结合操作温度、压力等条件。强腐蚀介质环境, 耐蚀合金是理想选择, 如哈氏合金、蒙乃尔合金; 腐蚀缓和、条件宽松时, 常用不锈钢, 也可用经表面防腐处理的碳钢。选材还要兼顾经济性与加工性能, 在满足耐蚀要求下降低成本, 提高效益。

3.2 优化结构设计

换热器结构设计需多维度提升抗腐蚀能力。其一, 避免缝隙和死角, 因介质在此流动不畅易形成浓差电池, 引发腐蚀, 设计时应采用圆滑过渡、无缝连接减少介质滞留区。其二, 合理规划流体路径, 保证流速均匀, 对易冲刷部位可增设导流装置或加厚管壁。其三, 密封结构设计要可靠, 防止介质泄漏, 避免资源浪费、环境污染及缝隙腐蚀, 损害设备性能与寿命。

3.3 表面处理技术

对换热器金属表面恰当处理可增强耐蚀性。涂层法是常用手段, 如涂覆环氧树脂涂层, 附着力强、耐化学腐蚀, 能阻隔介质与金属接触; 聚四氟乙烯涂层化学稳定性佳、摩擦系数低, 可降低侵蚀。镀层法借助电镀或化学镀形成耐蚀金属镀层, 像镀铬硬度高、耐磨耐蚀, 镀镍能保护基体。钝化处理通过特定方法形成钝化膜, 阻止腐蚀性离子侵入, 延长设备寿命^[3]。

3.4 针对垢下腐蚀的突破性应对措施

(1) 优化介质预处理: 在介质进入换热器之前, 对其进行严格的预处理, 去除其中的杂质、微生物和盐类等容易形成污垢的物质。可以采用过滤、沉淀、离子交换等方法, 降低介质中悬浮物和溶解性盐类的含量。对于含有微生物的介质, 可添加杀菌剂进行灭菌处理, 防止微生物在换热器表面附着和繁殖。(2) 采用新型防垢材料: 研发和应用新型的防垢材料, 如具有自清洁功能的涂层材料。这种涂层材料表面具有特殊的微观结构, 能够减少污垢的附着, 并且在介质流动的作用下, 使已附着的污垢自动脱落。例如, 一些含有纳米粒子的涂层, 能够改变金属表面的润湿性, 使污垢难以在表面沉积。(3) 智能监测与清洗系统: 安装智能监测系统, 实时监测换热器的运行参数, 如温度、压力、流速、传热效率等, 以及污垢的沉积情况。通过数据分析, 当污垢沉积达到一定程度时, 自动启动清洗系统。清洗系统可以采用化学清洗和物理清洗相结合的方式, 根据污垢的

成分和性质,选择合适的清洗剂和清洗方法,确保清洗效果的同时,减少对换热器的损伤。

4 化工设备换热器腐蚀的监测与维护

4.1 腐蚀监测方法

定期开展换热器的腐蚀监测工作,对于及时发现潜在腐蚀问题、采取有效应对措施、保障设备安全稳定运行意义重大。(1)外观检查:是较为基础且直观的监测方法。工作人员通过肉眼细致观察换热器表面,查看是否存在腐蚀斑点、锈迹,这些往往是腐蚀发生的早期迹象。同时,留意是否有泄漏现象,因为泄漏不仅会造成介质损失,还可能引发更严重的腐蚀问题。(2)厚度测量:则是利用超声波测厚仪等专业设备,定期精准测量换热器金属壁的厚度。通过对比不同时期的测量数据,能够清晰了解金属的腐蚀速率,判断腐蚀的发展趋势。

(3)腐蚀挂片试验:也是一种有效的监测手段。将与换热器材质相同的试片放置于介质中,经过一定时间后取出,运用化学分析、称重等方法测定试片的腐蚀程度,进而科学评估介质的腐蚀性,为后续的防腐措施提供有力依据。

4.2 日常维护措施

强化换热器的日常维护工作,是有效减少腐蚀发生、延长设备使用寿命的关键举措。(1)定期清洗:换热器在长期运行过程中,表面会逐渐积累污垢和沉积物,这些物质不仅会降低换热效率,还会在污垢下方形成局部腐蚀环境,引发垢下腐蚀。清洗方法主要分为化学清洗和物理清洗。化学清洗可根据污垢成分选用合适的清洗剂,如针对水垢可选用酸性清洗剂,能有效去除水垢、锈迹等;物理清洗则可采用高压水冲洗,利用高压水流冲刷掉表面污垢,也可通过机械刮除的方式清理顽固沉积物。(2)规范操作:要确保换热器正常操作,严格避免超温、超压运行,因为异常工况会破坏金属材料的性能,加剧腐蚀。同时,保持介质流速和浓度的稳定,防止因流速突变或浓度波动引发冲刷腐蚀或化学腐蚀^[4]。

4.3 腐蚀后的修复

一旦换热器出现腐蚀状况,及时且有效的修复工作必不可少,这关系到设备能否继续安全、稳定运行。若腐蚀程度较为轻微,补焊是一种常用的修复手段。不过,在补焊操作过程中,必须严格把控焊接质量。要选用与母材相匹配的焊接材料,精准控制焊接工艺参数,如焊接电流、电压和焊接速度等,防止因焊接不当产生裂纹、气孔等缺陷,避免为后续使用埋下新的腐蚀隐患。当遇到腐蚀严重的部件,例如换热管出现大面积穿孔或壁厚严重减薄时,应及时进行更换,以此确保换热器整体的性能和安全。在修复工作完成后,还需运用无损检测、压力试验等方法,对修复部位进行全面检测,严格验证修复效果是否符合使用要求,保证换热器在修复后能够可靠地投入运行。

结束语

化工设备换热器的腐蚀问题涉及类型多样、成因复杂,介质性质、操作条件及材料性能等因素均会对其产生显著影响。为有效应对这一挑战,需采取全方位策略:合理选材以适应不同工况;优化结构设计减少腐蚀隐患;运用表面处理技术增强耐蚀性;针对垢下腐蚀等特殊问题采取突破性措施;通过多种监测方法及时发现潜在腐蚀;强化日常维护以降低腐蚀发生几率;对已腐蚀部位及时修复并严格检验修复效果。只有将这些措施有机结合、协同实施,才能切实提升换热器的抗腐蚀能力,保障化工生产的稳定、高效与安全运行。

参考文献

- [1]亢凯.浅析化工设备换热器的常见腐蚀与防腐[J].中国设备工程,2021(17):149-150.
- [2]邓庆龙.化工设备换热器的常见腐蚀与防腐研究[J].化工设计通讯,2020,46(02):158-159.
- [3]欧阳伟媛.化工换热器常见腐蚀问题及防控措施的研究[J].石化技术,2023,30(12):21-23.
- [4]刘小磊.化工设备换热器的常见腐蚀问题与防腐措施研究[J].中国设备工程,2023,(15):147-149.