

炼化设备与管道防腐蚀探讨

宋书彬 (中国石化长城能源化工(宁夏)公司, 宁夏 银川 750411)

摘要: 腐蚀是炼化过程中普遍存在的问题, 它直接影响炼化设备的使用寿命和炼化效率。据统计, 腐蚀原因造成的损失占各国 GDP 的 1-5%, 石油化工行业腐蚀损失更是占总产值的 6% 左右, 高于其他行业一倍。炼化化工生产装置的设备与管道防腐保护是石油化工领域中的一个重要课题。随着工业化进程的加快和石油化工生产规模的不断扩大, 设备腐蚀问题日益突出, 给生产安全和设备寿命造成了严重威胁。因此, 加强对设备与管道腐蚀的研究和防护工作, 具有重要的理论和实践意义。

关键词: 炼化化工; 生产装置; 设备与管道; 腐蚀机理; 腐蚀原因; 防护措施

1 引言

在炼化化工实际生产中, 设备与管道往往会受到严重的腐蚀。若无适当的防护方法, 不但会降低其服役年限, 而且会严重地威胁到石油炼制、化工工艺的安全稳定运行。生产过程中, 若发生腐蚀, 会造成装置本身的损坏, 使其失去了工作能力^[1]。整机的刚性和强度也将显著下降, 从而极大地提高了设备的失效几率。

所以, 加强对炼化化工设备的防腐蚀研究是非常有意义的。对炼化化工设备与管道进行防腐处理, 也能够改善装置的运转状况, 延长装置的检修周期, 从而进一步提高炼化化工的产量。

2 炼化装置腐蚀机理

在炼化设备中常见的腐蚀物质主要有硫化物和酸性物质。在设备的运行过程中, 这些腐蚀性物质会黏附在设备的表面, 对其造成持续性的腐蚀^[2]。其中, 硫化物对金属设备的腐蚀性最强, 且其腐蚀的速率快、强度大, 容易引发设备的急速腐蚀, 而酸性物质虽对设备的腐蚀性较小, 但其对设备的破坏作用不容忽视。

炼化设备的腐蚀除会对设备本身构成破坏外, 还会对炼化装置的生产效率, 甚至产品的质量产生影响。设备腐蚀引发的问题可能导致设备性能降低, 生产效率低下, 成本提高, 也可能引发化工事故, 甚至威胁到工人的生命安全, 对设备腐蚀的预防和治理显得尤为重要。

3 炼化化工生产装置设备腐蚀的原因

3.1 化学腐蚀

化学腐蚀是炼化化工生产装置中常见的一种腐蚀形式, 由介质中的有机酸、无机酸、盐类等物质直接侵蚀设备材料而引起, 其特点见下表 1。

表 1 化学腐蚀特点

特点	特征
腐蚀介质多样性	炼化化工过程中存在多种腐蚀性介质, 如酸、碱、盐类等, 这些介质在不同的温度、压力和浓度下, 对设备产生不同程度的腐蚀作用。
腐蚀部位集中性	腐蚀现象在某些设备或装置的特定部位尤为严重
腐蚀速率差异性	腐蚀速率因腐蚀介质、设备材料、操作条件等因素而异。在未采用防腐工艺之前, 常压塔顶部碳钢塔盘的腐蚀速率可能高达 2~3mm/a, 而采用“一脱四注”工艺后, 腐蚀速率显著降低至 0.1~0.3mm/a。
腐蚀类型多样性	炼化化工生产装置中的腐蚀类型包括化学腐蚀、电化学腐蚀、金属应力腐蚀、空气氧化腐蚀和渗透腐蚀等。每种腐蚀类型都有其特定的发生条件和腐蚀机理

3.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀是炼化化工生产装置中常见的一种腐蚀形式, 其产生的原因是设备在介质中处于不同电位, 形成了电池系统, 导致金属材料的部分区域成为阳极或阴极, 从而发生电化学反应而引起腐蚀。这种腐蚀形式具有一定的复杂性和难以预测性, 容易导致设备表面的局部损伤, 如点蚀、应力腐蚀开裂等。

3.3 高温高压环境

炼化装备在高温、高压作用下, 其内部的金属会产生不同程度的变形, 从而引发腐蚀。在高温度条件下, 材料会发生相变、沉淀、晶格转变等行为, 从而降低材料的抗腐蚀性和强度。比如, 改变合金的晶界会引发晶间腐蚀, 而合金颗粒长大则会加剧合金的腐蚀疲劳。这种结构上的改变会加快材料的锈蚀速度, 从而缩短装备的使用年限。与此同时, 在高温高压条件下, 侵蚀物与被侵蚀物的反应速率明显加快, 侵蚀速率大大加快炼化设备的腐蚀速率也在加快, 这一问题日益突出。特别是在含有硫化物、氯化物等强腐蚀

性介质的情况下，在高温高压环境中容易产生局部腐蚀，造成设备材质的破坏，加速腐蚀的发展^[3]。

4 炼化化工生产装置的设备防护措施

4.1 材料选择

选择具有良好抗腐蚀性能的材料是保障设备长期稳定运行的关键之一。304 不锈钢含有 18% 的铬和 8% 的镍，具有良好的抗腐蚀性能，适用于一般腐蚀性介质下的设备制造，如化学储罐、管道、泵等。316 不锈钢在 304 不锈钢的基础上添加了 2% ~ 3% 的钼，提高了对氯离子等腐蚀介质的抗蚀能力，适用于海水处理、化学反应器等具有高腐蚀性的场合。镍基合金，如蒙乃尔、哈氏合金等，具有优异的耐腐蚀性能和高温强度，在高温高压下稳定性好，适用于硫化氢、氯化物等强腐蚀性介质下的设备制造，如反应器、换热器、管道等。钛合金具有优异的耐腐蚀性和高温强度，适用于硫酸、盐酸等强酸介质下的设备制造，如蒸馏塔、储罐等。聚丙烯具有优异的耐腐蚀性和机械性能，适用于一般酸碱介质下的设备制造，如酸洗槽、储罐等。

4.2 表面处理

4.2.1 表面涂层

表面涂层是一种常见的腐蚀防护技术，通过在静设备表面覆盖一层特殊涂料或涂层材料来提高设备的耐腐蚀性能和使用寿命。这种涂层可以有效隔离静设备与外界介质的直接接触，阻止腐蚀介质对设备表面的侵蚀，延缓或遏制腐蚀的发展。常用的表面涂层材料包括防腐漆、耐磨涂料、橡胶涂层等。这些涂层具有较高的耐腐蚀性、耐化学性和耐磨损性，可以有效保护设备不受腐蚀的影响。通过表面涂层技术，静设备的腐蚀防护能力得以有效增强，可提高设备的安全稳定性，延长使用寿命，降低维护成本。

4.2.2 使用耐蚀合金

使用耐蚀合金是一种常见且有效的腐蚀防护技术，针对静设备而言，选择适当的耐蚀合金材料可以使设备更具耐腐蚀性和使用寿命。耐蚀合金通常具有高度抗腐蚀性能，能够抵抗酸、碱、盐等各种腐蚀介质的侵蚀，保持表面光洁、不生锈，减少材料损失。这些合金通常包括不锈钢、镍基合金、钛合金等，根据工作环境的具体要求和腐蚀介质的特性来选择合适的耐蚀合金材料。使用耐蚀合金材料制造静设备，可以大幅延长设备的使用寿命，减少维护和更换频率，降低运行成本。

此外，耐蚀合金还具有良好的强度和耐磨性能，能够在恶劣的工作环境下保持稳定的性能，保障设备的安全运行。但在选用耐蚀合金时，需要考虑材料的成本、加工性能以及与其他部件的兼容性，确保选择最合适的耐蚀合金材料来满足设备的长期使用需求。通过使用耐蚀合金，可以有效提高静设备的耐腐蚀性能和可靠性，为工业生产提供更加稳定和可靠的设备保障。

4.2.3 阴极保护

阴极保护是一种重要的腐蚀防护技术，广泛应用于静设备等金属结构的防腐蚀领域。该技术通过在金属表面施加一个外部电流，使金属表面成为阴极，从而抑制腐蚀反应的发生，保护金属免受腐蚀侵蚀。阴极保护通常分为两种类型：外加电流阴极保护和牺牲阳极保护。外加电流阴极保护通过外部直流电源提供稳定的电流，使金属表面保持负电位，从而降低金属的自然电位，形成一种保护性氧化膜，防止腐蚀介质对金属表面的腐蚀。而牺牲阳极保护是通过将一种更容易被腐蚀的金属（如锌、铝等）放置在需要保护的金属表面附近，使其成为受腐蚀的物质，从而保护主体金属不被腐蚀。阴极保护技术具有操作简便、维护成本低廉、使用寿命长等优点，适用于各种环境下对金属结构进行保护。然而，在实际应用中，需根据具体情况选择合适的阴极保护措施，并定期检查和维护系统，以确保其稳定可靠地工作，为静设备提供良好的防腐蚀保护。通过阴极保护技术，可以有效延长静设备的使用寿命，减少维护成本，提高设备的可靠性和安全性^[5]。

4.3 工艺改进

流程改造是石化行业的重要内容之一，其关键在于通过对工艺过程进行优化，调节运行条件，减少被腐蚀的介质，进而达到延缓装置腐蚀速度，提高装置的服役年限。

一是通过对原工艺过程的剖析与研究，可以发现其所面临的问题及发展的瓶颈，从而制定出一套行之有效的解决方案。通过对装置运行顺序的调节，反应条件的优化，分离工艺的改进，可以减轻有毒物质对装置的腐蚀。同时，利用先进的过滤、纯化工艺，将加工中的各种杂质及有毒成分全部除去，达到了减少腐蚀的目的。

二是通过控制温度、压力、流量等工艺参数，实现对工艺过程的最优控制，减小有毒物质的产生与累

积，达到减缓装置腐蚀速度的目的。通常可采用低温、高压等方法，通过优化催化剂及助剂，实现高效、高选择性的合成，减少有毒气体的产生。

三是选用具备优良的耐蚀性及力学特性的耐腐蚀材料，使其在苛刻的使用条件下仍能维持其稳定的工作特性。针对炼化装置的防腐问题，提出了一种新的中和方法——酸、碱中和法。硫酸、盐酸、硫化氢等具有腐蚀性的物质与金属的表面作用，从而导致了腐蚀。采用碱性中和剂，可以有效地中和这种酸，进而减缓其腐蚀速度。比如，通过添加诸如NaOH(NaOH)或者碱金属盐之类的碱性中和剂，能够减少腐蚀性环境的酸度，延缓腐蚀的出现。在此过程中，可选用合适的中性试剂。中和剂宜选用中和效果好，稳定性好，与加工后生成化学品相容。

对于各种腐蚀材料，应选用各种中和剂。在包含硫酸的环境中，可以选用氢氧化钠(NaOH)或者碱金属盐作为适当的中和剂。为了保证中和的作用，中和剂的用量要严格控制，防止中和剂的用量过大而引起其它问题。

此外，还必须在实际作业中高效地实施中和工艺。这涉及到在合适的时候，在合适的地方加入中性试剂，以保证中性试剂能与腐蚀材料完全混合，达到中和的目的。操作工人须经过专门的训练，熟悉中性试剂的使用方法，安全操作程序，紧急情况处理。另外，还要有严密的监控与纪录制度，对中和过程的结果进行追踪，并适时地做出相应的调节，确保装置的安全性。

4.4 腐蚀监测与预警系统(见表2)

通过建立这样的系统，可以实时监测设备的腐蚀情况，及时发现潜在的问题，并采取必要的措施进行处理，从而保障设备的正常运行和生产的安全性。

4.5 管道防腐

材料选择：①耐腐蚀材料：选择不锈钢、合金钢

等具有良好耐腐蚀性能的材料；②防腐层：使用如石油沥青、PE 夹克、环氧煤沥青等防腐层材料，保护管道表面不受腐蚀。

表面防护：①防腐涂料：涂覆如环氧、聚氨酯等防腐涂料，为管道提供机械和化学保护；②电腐蚀保护：对于地下埋设的管道，可采用电腐蚀保护措施，降低金属的电位，阻止腐蚀。

防腐技术：①充氮置换法：使用干氮气吹扫设备和管道，达到防腐效果；②气相防锈保护法：使用气相保护剂在金属表面形成保护膜，隔离腐蚀介质；③油料防锈保护法：在金属表面涂抹轻质油，起到防腐作用。

管理和维护：①定期检查：检查管道的防腐层和封圈状态，及时修复或更换损坏部分；②设备清洗：定期清洗设备内部，去除腐蚀性介质和沉淀物；③运行控制：合理控制设备的工作条件，避免超过其设计工作参数。

5 结束语

在炼化化工生产装置中，设备与管道腐蚀是一个持续存在且需要高度关注的问题。正确选择抗腐蚀材料、改善工艺流程、建立腐蚀监测与预警系统等措施，都是减缓设备与管道腐蚀速率、延长设备寿命的重要途径。只有对腐蚀问题保持持续关注，采取有效措施进行预防和处理，才能确保生产设备的正常运行、生产安全和生产效率的持续提升。

参考文献：

- [1] 袁星海. 炼化设备腐蚀与防护管理措施 [J]. 中国化工贸易, 2020, 12(29): 219, 221.
- [2] 张富星. 炼化设备腐蚀与防护管理措施 [J]. 石油石化物资采购, 2023(13): 52-54.
- [3] 曹德溟. 探析炼化设备腐蚀原因与防护管理措施 [J]. 中国化工贸易, 2020, 12(26): 192-193.

表2 腐蚀监测与预警系统

内容	工作
智能监测传感器	使用各类传感器(如压力传感器、温度传感器、湿度传感器等)实时监测结构或设备的腐蚀情况。传感器分布在关键部位,实时传输数据到监测系统中。
监测数据采集与分析	采集的数据会经过处理和分析,形成监测报告和分析结果。可以对结构腐蚀的趋势进行预测,为预防事故提供依据。
腐蚀监测数据管理系统	通过网络收集、整理、分析、对比及整合各类腐蚀监测数据。实现腐蚀监测数据和报告的网络查询及实时浏览,提高数据综合利用率和管理效率。
预警机制与控制措施	设有预警机制,一旦发现腐蚀超过安全范围,自动触发预警信号。可以通过控制设备实现对结构的远程监控和控制,及时采取措施避免事故发生。
多种腐蚀监测手段	涵盖在线腐蚀监测、管线定点测厚、化学工艺分析及失效案例查询等多种方法。