

工业循环水管道结垢及腐蚀问题探究

李 星 (国能新疆化工有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830017)

摘要: 工业循环水系统常遭遇结垢与腐蚀挑战, 影响设备性能与运行成本。结垢由水中矿物质沉积引起, 减少管道直径, 增加能耗; 腐蚀则由金属材料与水中氧反应导致设备损伤。针对这些问题, 采用了水质预处理、化学处理与设备优化等综合控制方法。案例分析表明, 通过这些措施, 显著提高了系统的传热效率, 降低了维护成本与腐蚀速率, 增强了系统运行的安全性与经济性。

关键词: 工业循环水系统; 管道; 结垢; 腐蚀; 水质预处理

1 管道结垢的原理与影响

在工业应用中, 循环水系统中的管道经常遇到结垢问题, 这是由水中溶解的矿物质在一定条件下沉积形成的。这些条件包括温度、压力的变化, 以及水中的化学成分。特别是含有较高浓度的钙和镁离子的水, 会在高温下促进碳酸钙等矿物质的沉积, 形成硬垢。同时, 管道和设备设计的不足, 如不当的流速或材质选择, 也会加剧结垢的情况。例如, 表面粗糙的管道内壁容易促进沉积物的积聚。结垢对管道的负面影响是多维的。它主要减少了管道内部的有效直径, 从而增加了流体流动的阻力, 需要更多的能量来泵送相同量的流体。

此外, 垢层本身的导热率远低于管道材料, 这直接导致热交换效率的下降, 为了保持效率, 系统不得不消耗更多的能源。这些效率的损失, 不仅增加了运营成本, 还缩短了设备的使用寿命。结垢若不及时处理, 长期积累还可能导致管道堵塞和设备故障^[1]。

2 管道腐蚀的原理与影响

工业循环水系统中的腐蚀是一种电化学过程, 常见的成因包括水中溶解氧的存在, 这种氧化作用会使金属材料逐渐损失电子并形成氧化物。此外, 微生物腐蚀, 尤其是细菌, 通过其生命活动产生的代谢物质, 也能加速金属的腐蚀过程。金属材料的选择及其使用方式对腐蚀的抵抗性有着显著影响, 不合适的材料或设计可能会加速腐蚀。同时, 水处理药剂, 如缓蚀剂或阻垢剂, 如果选用或使用不当, 可能会引起或加剧腐蚀。腐蚀的影响涉及到设备和管道的完整性, 腐蚀会导致这些部件的物理结构受损, 从而减少其使用寿命并可能造成意外的设备停机。系统效率的下降也是腐蚀带来的直接后果, 因为损坏的部件和腐蚀生成的产物会影响系统的流畅运作。安全隐患是腐蚀带来的另一个严重问题, 腐蚀可能会导致设备突然破裂, 引

发安全事故。而且, 从经济角度来看, 腐蚀的存在显著提升了维护成本, 包括修复和更换受损部件的费用, 以及由于设备故障导致的生产停滞时间^[2]。

3 管道结垢与腐蚀的预防与控制

3.1 水质预处理技术

水质预处理技术为工业循环水系统提供了一道至关重要的防线, 确保供水质量符合工业生产的高标准。过滤与沉淀是最基础的物理处理手段, 能有效移除悬浮固体和部分大分子有机物。过滤利用多孔介质, 如砂床或滤膜, 截留较大颗粒, 而沉淀则依靠重力使颗粒在水中沉降到容器底部。这些方法的有效性在于它们能减少后续处理步骤的负担, 预防管道和设备的堵塞。离子交换是一种精细的化学处理过程, 通过树脂或类似介质与水中的离子相互作用, 替换出水中的钙、镁等硬度离子和其他有害的化学物质。离子交换树脂被设计成可以特异性地吸附特定离子, 从而软化水质, 为后续的化学处理和纯化步骤打下基础。反渗透则是一种更为精密的水质净化技术, 它使用半透膜作为屏障, 以高压推动水分子穿过膜而留下盐分和其他溶解物。这一过程不仅能有效去除几乎所有的悬浮和溶解物, 包括细菌和病毒, 还能显著降低水硬度, 生成几乎为纯净的水。反渗透系统的配置和运行需要精确控制, 以确保膜的长期效能和避免因浓差极化而导致的效率下降。

3.2 化学处理方法

化学处理方法是维护工业水系统健康的核心环节, 关键在于精确控制化学物质的添加以对抗腐蚀、结垢和微生物污染。缓蚀剂通过形成一层保护膜或改变腐蚀过程中的电化学反应来保护金属表面。这层保护膜具有选择透过性, 能有效隔绝金属与腐蚀介质的接触, 从而减缓金属离子的溶出速度, 延长设备的使用寿命。缓蚀剂种类繁多, 包括有机和无机类型,

其选择取决于系统的具体需求和工作环境^[3]。在防止结垢方面,阻垢剂的作用机理主要是干扰结垢过程中的晶体生长,阻止矿物质在管道和设备表面的沉积。阻垢剂通常包含可以与钙、镁等离子形成稳定络合物的化合物,这些络合物在水中保持溶解状态,避免了硬垢的形成。这样,即使在高浓度矿物质条件下,也能显著降低结垢的风险。对于生物污染,生物剂的使用至关重要。水系统中的微生物,如细菌、藻类和真菌,可以通过生产生物膜或其他代谢产物来加速金属腐蚀,同时也可能影响水质。生物剂可以通过抑制这些微生物的生长,破坏它们的细胞结构,或者改变它们的代谢过程来控制污染。这些化合物通常具有广谱的抗菌活性,并可以定向选择性地对付特定类型的微生物。

3.3 设备和工艺的优化

在工业循环水系统中,设备和工艺的优化是提高系统效率和延长设备寿命的关键措施。选择适当的材料对于防止腐蚀和结垢至关重要。例如,耐腐蚀的合金或者涂覆材料可以在很大程度上抵抗水和化学物质的侵蚀,减少维护需求。表面处理技术,如电化学抛光或涂层,可以平滑金属表面,减少微生物和沉积物的附着,进一步防止腐蚀和结垢。工艺的设计改进涉及到对流体动力学的精确计算,以优化水流路径,减少死角和低流速区域,这些往往是腐蚀和结垢的热点区域。通过设计改进,比如增加适当的流动控制器件和优化管道布局,可以显著提高水流的均匀性,降低局部侵蚀的可能性。

此外,采用高级的控制和监测系统,如在线pH计、腐蚀速率监测仪和流量计,可以实时监控水质和流速的变化,及时调整工艺参数,确保系统稳定运行。自动化控制系统不仅可以提高操作的精确性,还可以降低人为错误的风险,确保水处理化学品的最优投加,避免过量或不足。同时,周期性的清洗和维护程序也是工艺优化的重要部分。定期的清洗可以去除管道和设备内的沉积物,防止长期积累引发的问题。清洗程序的设计应该考虑到清洗效率和环境影响,选择合适的清洗剂和方法,以最小的环境影响达到最佳的清洗效果^[4]。

4 管道结垢与腐蚀问题的典型案例分析

4.1 案例介绍

为了更好地说明结垢与腐蚀的原理、影响和控制方法,我们选取了一个某石油化工厂的冷却水系统的

典型案例进行分析。该厂的冷却水系统采用开式循环冷却水,主要用于冷却裂解炉、压缩机、换热器等设备。系统的设计流量为12000m³/h,实际运行流量为8000m³/h,补充水为地下水,水质较差,含有较高的硬度、碱度和悬浮物。系统的运行温度为35℃,运行压力为0.3MPa。系统的主要材料为碳钢,部分设备为不锈钢。

4.2 主要问题和原因

系统的主要问题是结垢和腐蚀(图1)。结垢主要发生在换热器的传热面上,主要成分为碳酸钙和硅酸盐,垢层厚度达到2~3mm,严重影响了换热效率和设备性能。腐蚀主要发生在管道和设备的内壁上,主要形式为点蚀和垢下腐蚀,腐蚀速率达到0.3~0.5mm/a,导致了设备和管道的损坏和泄漏,增加了维修和更换的成本和风险。

系统的结垢和腐蚀的原因主要有以下几方面:补充水的水质较差,含有较高的硬度、碱度和悬浮物,导致了水中的成垢离子和杂质的增加,增加了结垢的可能性和程度,同时,水中的溶解氧和二氧化碳也增加了腐蚀的可能性和程度。系统的运行温度较高,导致了水中的成垢离子的溶解度降低,结垢的倾向增加,同时,水中的溶解氧和二氧化碳也随温度升高而逸出,降低了水的缓蚀能力,增加了腐蚀的倾向,系统的运行压力较低,导致了水中的气体的分压升高,增加了水中的溶解氧和二氧化碳的含量,增加了腐蚀的可能性和程度。

系统的主要材料为碳钢,对水中的成垢离子和腐蚀介质的耐受性较低,容易发生结垢和腐蚀,部分设备为不锈钢,与碳钢存在电位差,容易形成电偶腐蚀,系统的设计存在一些缺陷,如流速过低或过高,流态不稳定,死角过多,清洗不便等,增加了结垢和腐蚀的风险。



图1 结垢和腐蚀现象

4.3 采取的措施

为了解决系统的结垢和腐蚀问题,采取了以下措施:采用了过滤、沉淀和反渗透等技术,对补充水进行了预处理,降低了水中的硬度、碱度和悬浮物的含量,改善了水质,减少了结垢和腐蚀的源头。采用了缓蚀剂、阻垢剂和生物剂等化学药剂,对循环水进行了化学处理,抑制了水中的成垢离子的沉淀,防止了垢层的形成,提高了水的缓蚀能力,抑制了水中的腐蚀介质的活性,防止了腐蚀的发生,同时,也抑制了水中的微生物的繁殖,防止了微生物腐蚀的发生。采用了不锈钢等耐腐蚀材料,对部分设备和管道进行了更换或表面处理,提高了系统的耐腐蚀性能,减少了电偶腐蚀的风险。同时,对系统的设计和工艺进行了优化,调整了流速和流态,减少了死角和污垢的积累,方便了清洗和维护。采取措施后如图2所示效果。



图2 左为部分未处理措施前,右为采取措施处理后

4.4 结果分析

通过以上措施的实施,系统的结垢和腐蚀问题得到了有效的控制,系统的运行效率和安全性得到了提高,系统的运行成本和风险得到了降低。为了验证措施的效果,对系统的部分参数进行了监测和对比,结果如下表1所示。

表1 部分参数措施前后对比结果

参数	措施前	措施后	变化
换热器的传热系数 ($W/m^2 \cdot K$)	200	400	增加 100%

管道的流动阻力 (Pa)	500	300	减少 40%
系统的能耗 (kW)	800	600	减少 25%
系统的腐蚀速率 (mm/a)	0.4	0.1	减少 75%
系统的维修费用 (万元/a)	50	10	减少 80%

从表中可以看出,措施后,系统的传热系数显著提高,流动阻力显著降低,能耗显著减少,腐蚀速率显著降低,维修费用显著减少,说明措施的效果是显著的,达到了预期的目标。

5 结论

综合控制方法有效解决了工业循环水系统的结垢与腐蚀问题。通过水质预处理技术,如过滤、沉淀与反渗透,显著改善水质;化学处理,如使用缓蚀剂与阻垢剂,有效预防垢层形成与金属腐蚀;设备与工艺优化,如采用耐腐蚀材料与改进设计,减少了腐蚀风险。案例应用结果证实,这些措施提升了传热效率,降低了运行成本,确保了系统长期稳定运行。这表明,系统的设计与管理需要综合考虑结垢与腐蚀控制策略,以提升工业系统的整体性能与经济效益。

参考文献:

- [1] 石龙,马莉桃.工业循环水管道结垢及腐蚀问题探究[J].工程技术,2021(04):2.
- [2] 信芳,秦金涛.工业循环水管道结垢和腐蚀问题研究[J].中国化工贸易,2019(02):23.
- [3] 王文婧.工业循环水管道结垢和腐蚀问题研究[J].科技风,2019(31):1.
- [4] 左玖龙.工业循环水管道结垢和腐蚀问题分析[J].工业A,2022(04):3.