

石化企业工业循环水处理技术改进策略及经济性分析

涂珊兴 (中海油惠州石化有限公司, 广东 惠州 516086)

摘要: 随着水资源供应紧张和环境标准越来越高, 工业循环水处理系统的高效率和低成本运营已经成为影响企业持续增长和核心实力的关键因素。文章深入讨论了膜分离技术、化学处理技术和生物处理技术等多种技术在石油化工企业的各个生产阶段的应用, 并进行了多方面的经济可行性评估, 帮助企业保持循环水系统的稳定性, 还能最大化自身的盈利潜力, 从而促进石油化工产业的长远发展。

关键词: 工业循环水; 水处理技术; 技术改进; 经济性分析

中图分类号: TQ085.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 010-0055-03

Improvement Strategy and Economic Analysis of Industrial Circulating Water Treatment Technology in Petrochemical Enterprises

Tu Shanxing (CNOOC Huizhou Petrochemical Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516086, China)

Abstract: With tightening water supply and increasingly stringent environmental standards, the high efficiency and cost-effectiveness of industrial circulating water treatment systems have become critical factors for corporate sustainability and core competitiveness. This paper examines the application of membrane separation, chemical treatment, and biological treatment technologies across various production stages in petrochemical enterprises, alongside comprehensive economic feasibility assessments. These strategies help maintain circulating water system stability while maximizing profit potential, thereby driving the long-term development of the petrochemical industry.

Keywords: industrial circulating water; water treatment technology; technical improvement; economic analysis

工业循环水系统是石化企业生产运作过程中必不可少的一部分, 在工业循环水系统的作用下完成冷却和冷凝等重要工作, 保证了各种生产设备能够在合适温度条件下的平稳运转。但是伴随着石化生产规模越来越大和生产工艺越来越复杂的问题, 工业循环水系统也受到了很多严峻的挑战, 而常规的工业循环水处理技术针对这些问题逐步显现出其局限性, 所以必须对工业循环水处理工艺加以完善, 才能适应石化企业不断提高的生产和环保需求, 并且在提高循环水的处理成效的前提下确保企业经济效益^[1]。

1 石化企业工业循环水系统面临的问题

1.1 结垢问题

石化企业的工业循环水系统在运作时, 因为持续的水分蒸发和浓缩过程, 水体中的一些可溶性盐如钙、镁的碳酸盐和硫酸盐等的浓度会逐步上升, 一旦这些浓度超出溶解极限, 便会结晶析出, 并依附于设备的表面, 导致水垢的形成。结垢不仅会减弱设备的热量传递效率, 还会增加能量的消耗, 严重情况下可能会阻塞管道, 干扰循环水流的正常运行, 从而对整个生产设备的正常运转产生不利影响。

1.2 腐蚀问题

在工业循环水里含有溶解氧, 氯离子和硫酸根离子等具有腐蚀性的物质容易和金属装置产生电化学反应造成金属表面腐蚀, 腐蚀不但会使装置壁厚变薄缩

短了装置使用寿命, 甚至会造成泄漏和其他安全事故的发生给生产安全带来了严重的威胁, 与此同时腐蚀产物也会加重结垢现象造成恶性循环。

1.3 微生物滋生问题

循环水系统中温度、湿度及营养物质都适合微生物繁殖, 水中的微生物大量繁殖后就会生成生物粘泥吸附于装置表面而影响了传热效率, 同时生物粘泥又给细菌和其他微生物提供了存活的环境, 从而进一步加重了腐蚀。另外一些微生物代谢产物还可能污染水质、降低循环水处理成效。

2 工业循环水处理技术改进策略

2.1 优化膜分离技术

膜分离技术是工业循环水深度处理中的一项核心技术, 优化以膜组件合理选择和系统集成效能提高为重点, 以达到处理效率和运行稳定性以及能耗成本协同作为核心的目标, 在膜组件选择阶段需要综合考虑工业循环水水质特性、治理范围和达标要求等因素, 开展多维度参数匹配分析工作, 并根据水中悬浮颗粒物、胶体物质以及一部分微生物清除的需要, 要首选微滤膜或者超滤膜这两种膜组件以其孔径分布合理可以在很低的操作压力条件下有效地截留污染物质, 从而保证很高的膜通量, 如果需要进一步消除循环水内溶解性的盐类物质、较小的有机化合物以及重金属离子等物质, 就必须选择使用纳滤膜或者反渗透膜来进

行处理,纳滤膜可以对二价离子进行有选择的截留,而反渗透膜可以做到几乎彻底去盐。

在选型时需要注意膜材质化学稳定性、力学强度、孔径是否分布均匀、抗污性能是否好,还要综合考虑膜通量,截留率这些主要运行指标,从而保证膜组件和处理体系之间的良好配合,保证系统的长期平稳运行^[2]。

为了增强和改善膜系统的性能,需要从技术和操作入手,一是通过多种类型的膜元素的多层次组合来构造一个阶梯状净化装置,这样可以更深入地清洁循环水从而保证出水的高质量,二是使用微滤、超滤和反渗透等多种技术的组合来延长这些膜元件的寿命,同时也能减少需要频繁进行的化学品洗涤次数。三是要想优化工作过程中的各项指标必须以处理过程中水质的变化为基础,利用正交或者回应表面等手段来选择最佳的参数组合,这不仅能提高膜过滤的效果而且能尽量节省能源;四是要对潜在的膜污垢进行预测和预防,以进一步巩固膜系统工作的稳定性和效率。

2.2 改进化学处理技术

化学处理技术进步的核心是开发高效环保型药剂和精细化处理工艺,以达到缓蚀和杀菌的效果,并在减少生态效应的前提下,阻垢。研究开发缓释阻垢剂要以高效化为指导,环保化,多功能化的理念进行分子结构设计和修饰来促进药物在循环用水中的应用性能,运用先进的高分子聚合手段,将缓蚀基团、阻垢基团与分散基团整合到分子构造中,可以制造一种集多种功能于一身的复合缓蚀阻垢剂,该产品主要是通过产生吸附膜或者钝化膜的方式来保护金属表面,而阻垢作用则是借助晶格变形以及螯合分散等方式有效遏制碳酸钙,硫酸钙以及其他种类垢物质的析出和沉淀过程^[3]。

与此同时还要重视药品的生物降解能力,选择能够被分解的单体材料从而减小药品排放给水体带来的危害,对药物的分子组成进行优化可以增加适应各种水质硬,酸性和碱度以及污染物浓度的能力,强化其对于各种水中离子与污染物之间的反应,进一步改善缓蚀和防垢性能并减少药物使用量。

精细化的化学清洗计划应根据循环水系统的工作状态和污染情况来制定,以保证清洗的效果和对设备的维护之间的均衡,在设计清洗方案之前,必须进行水质测试、结垢成分分析以及装备材料的检查,以便确定结垢的种类、腐蚀的严重程度以及装备的耐受能力,并根据具体情况选用具有高效率 and 低腐蚀性的清洗产品,从而有效地降低清洗过程中金属部件受到的损害。

在洗涤过程中要严格控制洗涤剂的浓度、洗涤的温度、洗涤的时间和搅拌的速度等各方面的指标以免过度洗涤给设备造成伤害,另外还需要构建一个针对清洗废料的无害化管理和再利用系统,以消除其内含重金属离子,有机物质和过多药物,并且只有符合规定的排放标准时才允许排放或者将其回收到循环水中作为补水使用,从而实现对有害物质的最小化处理并促进其资源化的运用。

2.3 拓展生物处理技术

生物处理技术扩展的重点是优势微生物菌群筛选培养和加工工艺优化提升,本实用新型实现了循环水难降解有机物,氨氮和其他污染物的有效清除,并且减少了处理成本和环境负荷,筛选优势微生物菌群需要选择工业循环水系统或者周围污染环境作为筛选源,并根据循环水具有高盐,高有机物,高硬度和变化剧烈等特点,筛选得到耐盐性强、耐冲击性和高效降解能力强的微生物菌株并通过基因工程技术使所选菌株定向转化,加强了对污染物降解的基因表达提高了降解效率以及提高了应对极端工况时的稳定性能^[4]。

生物处理工艺要改善需要以传统工艺存在的缺陷为基础,并考虑循环水水质特点来进行优化和升级,改进了活性污泥法和生物膜法的传统工艺,对其反应器结构进行了优化设计,并调节了水力停留时间,污泥停留时间和曝气强度来提高该过程对于高盐和高有机物废水处理的适应性。与新型生物处理技术如膜生物反应器相结合可以有效分离泥水,避免因活性污泥损失而造成的处理效率降低,在提高出水水质的同时达到循环水深度净化的目的,也可加入微生物营养剂对反应器中碳氮比进行优化,有利于微生物生长繁衍从而进一步增强生物处理效能。

2.4 升级监测与控制系统

监测和控制系统升级是将工业循环水治理智能化和精细化的重点,其核心就是建设一个全方位,实时化和智能化的监测管控体系以提高系统运行稳定性和经济性,在线监测技术进行优化中需要着眼于监测参数全面性和监测数据准确性以及及时性等因素,建立一套对循环水进行酸碱度,电导率,硬度,溶解氧,浊度,微生物含量,药剂浓度和腐蚀速率为主要内容的多参数综合监测系统。选择高精度多参数水质分析仪,激光粒度仪,生物传感器和腐蚀在线监测仪,提高了监测精度并在保证了监测数据实时传输和储存的前提下,通过对在线监测数据进行实时分析可以随时了解循环水系统工作状况,并准确判断水质变化趋势、设备腐蚀结垢状况和药剂效果从而为调整和技术优化提供了科学依据。

智能控制系统要引入就需要依靠大数据和人工智能来完成处理流程自动化调控和智能化预警,以在线监测数据和预设控制模型为基础,搭建闭环控制系统对工艺过程进行动态优化,本实用新型采用大数据分析技术对循环水系统长时间的运行数据分析挖掘,并建立了能耗,处理效率和运行成本等优化模型。综合人工智能算法构建了故障预警系统,提前预判系统可能存在的膜污染,设备腐蚀和药剂失效情况,发布预警信号,自动启动应急处理措施从而减少故障带来的危害,通过建立智能化管理体系可以极大地提高循环水处理系统运行效率、减少人工干预、降低人工成本及运行能耗、达到精细高效的处理过程管理^[5]。

3 工业循环水处理技术改进的经济性考量

3.1 投资层面分析

改进工业循环水处理技术通常要购买新装备或者改造原有装备,研究开发并使用新型缓蚀阻垢剂也许有必要建造特殊药剂生产和配制设施,这类设备购买费用会随着技术类型、设备规格及品牌的不同而变化,在新建水处理系统或者对原系统进行改造过程中,其大小、复杂度和场地条件均会对建设和安装费用产生影响^[6]。

新型缓释阻垢剂研发工作、生物菌种筛选培养和智能控制系统开发均需耗费大量人力物力财力,其中在开发过程中包括实验设备采购,实验材料消耗及科研人员报酬等成本,并且研究与开发存在一定不确定性,为了获得理想效果可能要经过很多次测试与优化。

3.2 运营层面分析

改良水处理工艺运行时需耗费一定能量,例如膜分离工艺的水泵要求用电提供压强,生物处理技术中曝气装备要求用电供氧,能耗成本受设备功率,运行时间和当地电价的影响较大,对设备选型及运行参数进行优化能够减少能耗成本。化学处理技术需耗用大量药剂例如缓蚀阻垢剂和杀菌剂,药品的消费费用与其价格、添加量和水质的变化密切相关,对药剂投加量进行合理控制和发展高效药剂可以减少资源消耗的成本,同时膜分离工艺所使用的膜组件还有其使用期限需定期进行更新,这些都成为资源消耗组成。

新型水处理设备要经常维修保养,维修成本受设备种类、复杂度及运行环境影响较大从而加大了维修成本。虽然有了保养措施,但是装置还是有可能出现故障而需要修理,修理费用可能会很高,因此有必要制定一套健全的装置维修管理体系,对设备故障进行及时地发现并处置能够有效地减少维修成本。

3.3 产出层面分析

通过改善工业循环水处理技术来提高循环水利用

回用率并降低新鲜水资源用量,就石化企业而言水资源购置成本是重要开支,减少新鲜水取用量可直接节省水资源购置成本,而减少废水排放也可使企业排污成本下降从而达到经济效益和环境效益双丰收的目的,有效地改善水处理技术能够缩短结垢、腐蚀及微生物滋生等因素给装置带来的危害,提高装置使用寿命。装置使用寿命变长说明公司能够减少装置更新换代次数和装置投资成本,较好的循环水处理效果能确保生产设备平稳运转,降低由于设备故障而引起的停产,生产稳定性提升有利于企业生产效率提升、产品产量增加、降低生产中断带来的经济损失等,高质量循环水对生产过程起到稳定冷却及工艺支撑作用,并有利于提升产品质量,优质产品通常能够在市场上取得较高价格,提高企业市场竞争力。

4 结论

改进石化企业工业循环水处理技术对确保生产平稳运行,提高水资源利用率,减少环境影响有着十分重要的作用,通过相关战略能够有效地解决工业循环水体系所面临结垢问题,腐蚀问题,微生物滋生问题等等。在经济性考量上,尽管需投入一定资金,在输出层面上却能产生水资源节约回报、设备维护及生产效益增加、产品质量及市场竞争力增强等诸多正向效应,能够在技术改进和经济效益之间达到一种权衡,石化企业在推行工业循环水处理技术改造过程中要结合自身实际情况及经济实力综合进行技术经济分析,并且要选择最合适的改善策略来使企业获得持续发展,从而为石化行业绿色开发提供更加强大的支撑。

参考文献:

- [1] 陈蓉,晏眠.物理法水处理技术在化工循环水处理中的应用[J].大氮肥,2025,48(03):202-207.
- [2] 徐云龙,周春海,浦林鹤.工业循环水处理技术的改进研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(01):27-29.
- [3] 陈炜,高鹏,张连芹,等.工业循环水处理技术改进策略分析[J].大众标准化,2024(22):53-55.
- [4] 宋璐璐.工业循环水处理技术改进研究[J].山西化工,2023(01):242-244.
- [5] 张红.工业循环水处理技术改进措施[J].化工设计通讯,2020(10):181-182.
- [6] 娄会强,乔辉,潘智军,李安乐.一种管材生产冷却循环水处理系统[P].西安中财型材有限责任公司,2025.

作者简介:

涂珊兴(1990-),男,广东梅州人,本科,助理工程师,从事工业水处理生产运行。