

煤化工企业高盐废水处理技术设计

乔 艳

乌审旗苏里格现代煤化工产业研究院 内蒙古 鄂尔多斯 017300

摘要: 煤化工企业生产过程产生的高盐废水成分复杂、污染性强,其有效处理对行业可持续发展至关重要。物理处理技术通过沉淀、过滤等方式分离污染物,化学处理技术利用化学反应改变物质性质,生物处理技术借助微生物降解有机污染物。处理技术设计需综合考虑工艺选择、设备选型与自动化控制。针对处理成本高、二次污染及技术适用性局限等问题,采取相应策略,以实现高盐废水高效处理与资源化利用。

关键词: 煤化工企业;高盐废水;处理技术;设计

引言

随着煤化工产业的快速发展,高盐废水排放带来的环境污染问题日益严峻。此类废水含盐量高、有机物及重金属含量复杂,直接排放不仅会破坏生态环境,还威胁水资源安全与人类健康。研发高效、经济的高盐废水处理技术迫在眉睫。本文围绕煤化工企业高盐废水处理技术,分析现有处理技术,探讨设计要点,剖析存在问题并提出应对策略,为行业废水处理提供技术参考。

1 煤化企业高盐废水概述

煤化工企业在煤炭气化、液化及焦化等生产过程中会产生大量高盐废水,其成分复杂且污染特性显著。这类废水通常含有高浓度的氯化钠、硫酸钠等无机盐分,以及酚类、多环芳烃、氨氮、硫化物等有机污染物和重金属离子,盐分浓度往往可达10000mg/L以上,甚至超过50000mg/L,远超常规废水处理系统的耐受范围。高盐废水的形成与煤化工工艺密切相关。煤气化过程中,煤炭与气化剂反应产生的合成气经洗涤、净化等工序,会携带出原料煤中的可溶性矿物盐分及反应生成的无机盐;煤液化过程中,加氢反应及后续分离步骤同样会引入大量盐分。这些废水中的有机污染物不仅导致水质COD(化学需氧量)值高达数千甚至数万mg/L,而且部分污染物具有生物毒性,会抑制微生物活性,使得传统生物处理技术难以直接应用。高盐废水的处理难度极大。高浓度盐分形成的高渗透压环境,会破坏微生物细胞的渗透压平衡,导致微生物脱水死亡,使生物处理系统无法正常运行;废水中的多环芳烃等难降解有机物结构稳定,常规氧化技术难以实现有效分解。废水中的盐分与有机物相互作用,进一步增加了处理复杂性,盐分结晶析出还会造成管道堵塞、设备腐蚀等问题,严重影响处理设备的运行效率和使用寿命。由于高盐废水的特殊性,若未经有效处理直接排放,会对土壤、水体等生态环境造成

严重破坏,引起土壤盐渍化、水体富营养化等问题,威胁周边生态系统安全。研发高效、经济的煤化企业高盐废水处理技术,实现废水的无害化、资源化利用,是煤化行业可持续发展面临的关键挑战之一。

2 煤化工企业高盐废水处理技术分析

2.1 物理处理技术

煤化工企业产生的高盐废水成分复杂,物理处理技术通过物理作用分离废水中的悬浮物质、胶体及部分溶解性盐类。蒸发结晶技术利用高盐废水各组分沸点差异,通过加热使水分蒸发,盐类溶质结晶析出,常用于处理含盐量高且盐组分单一的废水,能有效实现盐分的资源化回收,但设备投资与运行成本较高,且易产生结垢问题影响设备使用寿命。膜分离技术以选择性透过膜为介质,依据压力差实现盐分与水的分离,如反渗透、纳滤等工艺,可精准截留盐分,出水水质良好,但膜元件易受废水中有机物、悬浮物污染,需频繁清洗维护,且膜组件更换成本较高,限制了其大规模应用。吸附法利用活性炭、分子筛等吸附剂的多孔结构,吸附废水中的有机污染物和部分离子,虽对污染物去除有一定效果,但吸附剂饱和后需再生或更换,处理成本随之增加。

2.2 化学处理技术

化学处理技术通过化学反应改变高盐废水中污染物的化学性质与存在形态,实现污染物去除。氧化还原法利用强氧化剂如臭氧、过氧化氢、芬顿试剂等,将废水中难降解的有机污染物氧化分解为二氧化碳和水,有效降低废水的化学需氧量(COD)和生化需氧量(BOD),提升废水可生化性。例如芬顿氧化技术,通过亚铁离子与过氧化氢反应生成强氧化性的羟基自由基,对酚类、多环芳烃等有机污染物具有高效的降解能力,但该过程会产生大量含铁污泥,增加后续处理难度。化学沉淀法向废水中投加特定化学药剂,使目标污

染物与药剂反应生成难溶性沉淀,实现固液分离,如投加石灰乳去除废水中的镁离子,生成氢氧化镁沉淀,然而沉淀污泥的处置与资源化利用仍是需解决的关键问题。离子交换法借助离子交换树脂与废水中离子进行交换反应,去除特定离子,常用于软化硬水及去除重金属离子,但树脂再生过程会产生大量再生废液,易造成二次污染^[1]。

2.3 生物处理技术

生物处理技术依靠微生物的新陈代谢作用分解高盐废水中的有机污染物。由于高盐环境对微生物活性具有抑制作用,嗜盐微生物的筛选与驯化成为高盐废水生物处理的关键。好氧生物处理工艺如活性污泥法、生物膜法,在高盐废水处理中通过逐步提高进水盐浓度,使微生物适应高盐环境,利用好氧微生物的呼吸作用将有机污染物分解为二氧化碳和水,然而过高的盐浓度会导致微生物细胞脱水,影响其代谢活性。厌氧生物处理技术如厌氧生物滤池、升流式厌氧污泥床(UASB),利用厌氧微生物在无氧条件下将有机物转化为甲烷和二氧化碳,相较于好氧处理,厌氧处理能耗低且可产生沼气作为能源,但处理周期较长,对水质波动较为敏感。将好氧与厌氧工艺相结合的组合生物处理技术,可充分发挥两者优势,先通过厌氧处理降低废水中大分子有机物含量,再利用好氧工艺进一步降解小分子有机物和氨氮,有效提高处理效率和出水水质,但该工艺对运行参数的控制要求更为严格。

3 煤化工企业高盐废水处理技术设计要点

3.1 处理工艺的选择与组合

(1) 煤化工高盐废水成分复杂,包含大量溶解性盐类、有机物及悬浮物,需采用多级处理工艺实现污染物的有效去除。预处理阶段,常选用混凝沉淀与高级氧化组合技术,通过投加聚合氯化铝、聚丙烯酰胺等药剂,使废水中的悬浮物及胶体物质凝聚沉降,再利用芬顿氧化或臭氧氧化破坏难降解有机物结构,降低后续处理负荷。

(2) 生物处理环节是去除废水中有机污染物的核心,厌氧-好氧(A/O)工艺或膜生物反应器(MBR)技术的应用较为普遍。A/O工艺通过厌氧段的水解酸化及好氧段的微生物代谢,可有效降解大部分有机污染物;MBR技术则结合膜分离与生物处理,实现泥水高效分离,提升处理效果与出水水质。(3) 深度处理阶段,针对废水中的高盐成分,多采用反渗透(RO)与蒸发结晶相结合的工艺。RO膜能截留绝大部分溶解性盐分,产水可回用;浓水经蒸发结晶,使盐分以固体形式析出,实现废水的零排放目标,保障处理工艺的完整性与可持续性。

3.2 设备选型与参数优化

(1) 在设备选型方面,需依据处理规模与水质特点精准配置。对于预处理设备,沉淀池的尺寸设计应充分考虑废水流量与沉降性能,确保足够的水力停留时间与沉降面积;高级氧化设备的选型需结合氧化剂投加量、反应时间等参数,保证氧化反应充分进行。(2) 生物处理设备中,曝气系统的选型至关重要,需根据微生物需氧量及混合效果选择合适的曝气器类型与布置方式,以维持活性污泥良好的代谢环境;MBR设备的膜组件材质与通量直接影响处理效率与运行成本,应综合考量废水水质、处理要求及经济性进行选择。(3) 深度处理设备的参数优化是保障出水水质与运行效益的关键。反渗透设备的膜元件排列方式、操作压力及回收率需经模拟计算与实验验证,平衡产水水质与能耗;蒸发结晶设备的蒸发温度、真空度及结晶器结构设计,要适应高盐废水特性,确保盐分高效结晶分离,降低设备结垢风险,提升整体运行稳定性^[2]。

3.3 自动化控制系统设计

(1) 煤化工高盐废水处理自动化控制系统以实现稳定运行与精准调控为目标,需构建完善的监测与控制体系。通过在线监测仪表实时采集水质参数(如pH值、COD、电导率等)、设备运行参数(如流量、压力、液位等),为系统控制提供准确数据支撑,确保对处理过程的动态感知。(2) 控制系统的核心在于逻辑算法的优化设计,采用可编程逻辑控制器(PLC)结合分布式控制系统(DCS),实现对各处理单元设备的联动控制。例如,根据进水水质自动调节药剂投加量,依据膜系统压力变化调整冲洗频率,保障处理工艺的高效稳定运行,减少人工干预带来的不确定性。(3) 自动化控制系统还需具备故障诊断与预警功能,通过建立设备故障模型与数据分析算法,及时识别异常工况并触发报警机制,同时自动执行应急处理程序,如设备停机、备用设备切换等,最大限度降低故障对处理系统的影响,提升整体运行的安全性与可靠性。

4 煤化工企业高盐废水处理技术设计中存在的问题与应对策略

4.1 存在的问题

4.1.1 处理成本较高

煤化工企业高盐废水成分复杂,含有大量无机盐、有机物及难降解污染物,处理流程涉及预处理、脱盐、深度处理等多个环节。每一个环节都需投入大量的设备与药剂,预处理阶段去除悬浮物、胶体等杂质需使用絮凝剂、助凝剂,脱盐过程采用反渗透、蒸发结晶等技

术,不仅设备投资巨大,且运行过程中能耗成本居高不下。由于高盐废水处理需维持稳定的工艺参数,对操作人员技术要求高,人力成本也随之增加。这些因素叠加,使得煤化工企业高盐废水处理成本远超一般工业废水处理成本,给企业带来沉重的经济负担。

4.1.2 二次污染风险

在高盐废水处理过程中,蒸发结晶产生的结晶盐可能含有重金属、有机物等污染物,若处理不当直接排放或处置,会对土壤、水体等造成二次污染。采用膜处理技术时,浓盐水的产生难以避免,其中浓缩的污染物浓度更高,处理难度加大,若浓盐水随意排放,会对周边生态环境产生严重破坏。一些化学处理过程中使用的药剂残留,也可能引发新的污染问题,这些二次污染风险若不妥善管控,将导致环境污染问题的转移和加剧^[3]。

4.1.3 技术适应性有限

不同煤化工企业的生产工艺、原料成分存在差异,导致高盐废水水质、水量波动大,含盐量、有机物含量、污染物种类都不尽相同。现有处理技术往往难以满足多样化的处理需求,例如反渗透技术在处理高硬度、高硅含量废水时易出现膜污染问题,影响处理效率和设备寿命;蒸发结晶技术对废水中有机物含量有严格要求,有机物含量过高会导致蒸发设备结垢、腐蚀,影响系统稳定运行。单一技术难以适应复杂多变的高盐废水水质,技术的适用性和稳定性面临严峻挑战。

4.2 应对策略

4.2.1 降低处理成本

可通过优化工艺组合来降低处理成本,将生物处理技术与物理化学处理技术相结合,利用微生物降解废水中部分有机物,减少后续物理化学处理的药剂投加量和能耗。研发和应用高效节能设备,如新型蒸发器采用多效蒸发、MVR(机械蒸汽再压缩)技术,提高能源利用率,降低蒸发过程的能耗。加强对处理过程的精细化管理,通过实时监测水质参数,精准控制药剂投加量和设备运行参数,避免不必要的资源浪费,从而有效降低煤化工企业高盐废水处理的综合成本。

4.2.2 防范二次污染

针对蒸发结晶产生的结晶盐,采用先进的检测手段,对其中的污染物进行全面分析,根据检测结果制定科学合理的处置方案,如采用固化、稳定化技术将结晶盐无害化处理后安全填埋。对于膜处理产生的浓盐水,开发浓盐水减量技术,如正渗透、膜蒸馏等,降低浓盐水产生量,同时对浓缩后的污染物进行深度处理,使其达到排放标准或实现资源化利用。在化学处理过程中,筛选环保型药剂,减少药剂残留带来的污染风险,从源头和过程多方面防范二次污染。

4.2.3 提高技术适应性

开展高盐废水处理技术的研发与创新,开发具有普适性的处理技术,如针对不同水质特点的模块化处理工艺,可根据实际废水水质灵活组合模块,实现高效处理。加强对新型材料的研究与应用,开发抗污染性能强的膜材料,提高膜处理技术对复杂水质的适应性;研制耐高温、耐腐蚀的蒸发设备材料,提升蒸发结晶技术的稳定性。建立高盐废水水质动态监测系统,根据水质变化及时调整处理工艺参数和技术组合,提高处理技术对多变水质的适应性^[4]。

结语

综上所述,煤化工企业高盐废水处理技术设计是一项系统工程,通过合理分析物理、化学、生物处理技术,科学把握工艺选择、设备选型及自动化控制要点,有效应对处理成本、二次污染等问题,已取得一定成果。但仍存在技术优化空间与新型工艺探索需求。未来需进一步深化技术研究,加强产学研合作,推动煤化工高盐废水处理技术向绿色化、高效化方向发展。

参考文献

- [1]程海涛,王小强,王煜乾,等.煤化工企业高盐废水处理技术设计[J].煤炭工程,2025,57(2):19-26.
- [2]马鸣,张新妙,章晨林.现代煤化工高盐废水处理技术研究进展[J].石油化工,2023,52(3):427-432.
- [3]韩阳.煤化工高盐废水处理工艺的应用[J].数字化用户,2024(38):57-58.
- [4]荣维然.煤化工高盐废水的处理技术的应用研究[J].石化技术,2024,31(5):363-364.