

煤化工废水深度处理及回用技术进展

平群峰

河南能源集团义马气化厂 河南 三门峡 472300

摘要:煤化工废水有“三高一复杂”特性,处理面临污染物协同、水质波动等难点。深度处理技术中,物理化学、生物、高级氧化技术均有进展。废水回用途径多样,需优化处理工艺、控制系统稳定性。现存成本高、技术集成度低等技术瓶颈,可通过技术集成优化、研发新型材料等策略,推动其智能化与绿色化发展。

关键词:煤化工废水;深度处理;回用技术;工艺优化

引言:煤化工产业作为能源化工领域的重要支柱,其生产过程中产生的废水成分复杂,具有“三高一复杂”特性,处理与回用面临污染物协同作用强、水质波动大、深度处理达标难等诸多挑战。近年来,随着环保要求的日益严格和水资源短缺问题的加剧,煤化工废水处理与回用技术不断取得进展。本文将深入探讨煤化工废水深度处理、回用技术进展,剖析现存问题,并提出针对性的解决策略,以推动煤化工行业可持续发展。

1 煤化工废水的特性及处理难点

煤化工废水作为煤炭化工产业生产过程中产生的典型工业废水,主要源自煤气化、焦化、煤液化等关键环节。其水质呈现出极为独特的“三高一复杂”特征,给后续处理带来了巨大挑战。(1)“三高”首先体现在高化学需氧量(COD)上。煤化工生产中使用的众多有机物,在反应过程中部分未能完全转化,以各种形态残留在废水中,导致废水COD数值极高,这反映出废水中有机污染物含量庞大,氧化这些有机物所需的氧量也相当可观。其次,高氨氮也是显著特征之一。在煤炭转化过程中,含氮化合物发生分解和转化,生成大量氨氮进入废水,氨氮不仅会造成水体富营养化,还对水生生物具有毒性。再者,高盐度同样不可忽视。生产过程中添加的各类盐类以及原料煤本身含有的盐分,在废水处理过程中不断积累,使得废水盐度居高不下,高盐环境会对微生物的生理功能产生严重抑制,干扰生物处理系统的正常运行。(2)“复杂”则指废水中含有种类繁多的难降解有毒有机物,如苯系物、多环芳烃、含氮杂环化合物等。这些物质结构稳定,在自然环境中难以被微生物分解,具有致癌、致畸、致突变等潜在危害。(3)煤化工废水处理面临诸多难点。其一,污染物协同作用强。多种有毒有机物共存时,会产生复杂的协同效应,进一步抑制微生物的活性,破坏生物处理系统中微生物的生态平衡,严重影响生物处理的效果和稳定性。

其二,水质波动大。原料煤的种类、产地以及生产工艺参数的微小变化,都会导致废水成分和浓度发生明显改变,使得处理工艺难以稳定运行,增加了处理难度和成本。其三,深度处理达标难。传统处理工艺对COD、色度以及毒性物质的去除效果有限,难以满足日益严格的回用或排放标准要求。其四,盐类积累问题突出。高盐环境不仅会加剧处理设备的腐蚀,缩短设备使用寿命,还会增加回用处理的难度和成本,限制了废水的资源化利用^[1]。

2 煤化工废水深度处理技术进展

2.1 物理化学深度处理技术

物理化学法作为煤化工废水深度处理的核心手段,近年来在高效分离材料研发与工艺优化上成果显著。(1)在膜分离技术领域,超滤-反渗透双膜法已成功实现工业化应用。超滤凭借其独特的孔径结构,可高效截留废水中的胶体和大分子有机物,为后续处理减轻负担;反渗透则能进一步深度处理,有效去除小分子污染物和盐分。然而,膜污染问题一直是制约其大规模应用的瓶颈。不过,新型抗污染膜材料的研发取得了突破,这类材料可显著延长膜清洗周期,在部分煤化工项目实际应用后,膜的使用寿命得到有效提升。(2)吸附技术中,活性炭吸附因成本相对较低,仍在煤化工废水处理中广泛应用,但再生困难的问题亟待解决。新型吸附材料如分子筛、金属有机框架材料展现出巨大优势,它们对酚类物质的吸附容量远超传统活性炭,且可通过热解吸实现再生。在煤化工基地的中试中,这些新型材料对COD的去除效果稳定,具有广阔的应用前景。

2.2 生物深度处理技术

生物处理技术凭借微生物对残留有机物的降解作用,在煤化工废水深度处理领域展现出成本低、环境友好的显著优势。(1)厌氧氨氧化技术是高氨氮废水处理的“利器”。该技术无需额外添加碳源,通过微生物的

独特代谢途径,能高效去除氨氮。相较于传统硝化反硝化工艺,它大幅降低了能耗,在部分煤化工项目实际应用中,采用厌氧氨氧化相关组合工艺后,废水中的氨氮浓度显著降低,处理效果十分突出。(2)功能性微生物驯化技术则是另一大亮点。通过基因工程手段改造高效降解菌,使其对吡啶、喹啉等难降解物质的降解能力远超自然菌群,同时耐受浓度也得到提升。将生物膜反应器与功能菌相结合,在处理含有机硫废水时,微生物在生物膜上形成稳定的生态系统,对 COD 的去除效果稳定可靠,处理后的出水水质能够满足循环水补水的要求,实现了废水的资源化利用^[2]。

2.3 高级氧化深度处理技术

高级氧化技术凭借产生强氧化自由基的特性,能够高效降解煤化工废水中的难降解有机物,是确保废水深度处理达标的重要技术保障。(1)电催化氧化技术采用具有特定涂层的电极,在电流作用下,电极表面发生电化学反应,产生羟基自由基等强氧化性物质,对煤化工尾水中的 COD 有良好的去除效果。而且该技术无二次污染产生,相较于传统 Fenton 法,处理成本显著降低,目前已在部分煤化工项目实现了连续稳定运行。(2)光催化氧化技术中,复合催化剂展现出独特优势。在可见光照射下,复合催化剂对多环芳烃等难降解有机物的降解效率远高于单一催化剂,反应速率大幅提升,同时复合催化剂还具备可回收重复使用的特性,降低了处理成本。(3)臭氧-双氧水联用技术通过两者协同作用,产生大量强氧化自由基,对废水中的色度和毒性物质去除效果十分显著,在部分煤化工项目应用后,能有效将出水 COD 降至满足回用标准的水平。

3 煤化工废水回用技术进展

3.1 回用途径及水质要求

煤化工废水经过有效处理后实现回用,既能节约水资源,又能降低企业生产成本与环保压力,其回用途径多样,主要包括循环冷却补水、工艺用水(涵盖煤气洗涤、熄焦等环节)、绿化及杂用水等。(1)循环冷却补水对水质要求较为严苛。由于冷却系统长期运行,若水质不佳,易在换热器表面结垢、滋生微生物,影响换热效率甚至损坏设备。因此,需严格控制水中的硬度、碱度、COD 以及微生物指标等。通常采用“深度处理+软化+杀菌”的组合工艺,深度处理去除有机物等杂质,软化降低水的硬度,杀菌防止微生物滋生。(2)工艺用水方面,对盐度的要求相对宽松一些,但必须严格去除有毒有机物,避免这些物质在工艺过程中积累,影响产品质量和生产安全。而绿化用水只需满足基本卫生指标,确

保不会对植物生长和周边环境造成不良影响即可。

3.2 回用处理工艺优化

在煤化工废水回用处理领域,“预处理-深度处理-回用处理”的集成工艺已逐渐成为主流趋势,其凭借系统性和高效性,能更好地满足不同回用场景对水质的要求。(1)部分企业采用“气浮-厌氧-好氧-超滤-反渗透-浓水蒸发”这一组合工艺。气浮可有效去除废水中的悬浮物和部分油类;厌氧与好氧处理协同作用,降解有机物;超滤进一步截留大分子物质;反渗透则能深度脱盐,其产水水质优良,可作为循环冷却补水,回用率较高。而产生的浓水通过蒸发结晶处理,盐渣可进行安全填埋处置。(2)还有企业创新性地运用“高级氧化-纳滤分盐”工艺。高级氧化技术能高效降解难降解有机物,纳滤则可实现高盐废水中盐分的分离和回收,不仅提高了水资源的回用率,还实现了盐资源的有效利用,为煤化工废水回用处理提供了新的思路 and 方向^[3]。

3.3 回用系统稳定性控制

在煤化工废水回用系统运行过程中,结垢、腐蚀和微生物滋生是影响系统稳定性的三大主要问题,若不加有效控制,将严重降低系统处理效率,缩短设备使用寿命。(1)针对结垢问题,一方面可通过精准投加阻垢剂来控制结垢速率。阻垢剂能与水中的成垢离子发生螯合、分散等作用,阻止垢的形成与沉积。另一方面,采用电化学除垢技术也是一种有效手段,它利用电化学原理使水中的成垢离子在电极表面发生反应,生成不溶性沉淀物并从水中分离,从而减少药剂用量,降低运行成本。(2)对于腐蚀问题,添加合适的缓蚀剂是关键。缓蚀剂能在金属表面形成一层保护膜,阻止水与金属直接接触,进而控制腐蚀速率。(3)在微生物控制方面,紫外线-臭氧联合杀菌技术效果显著。该技术能破坏微生物的细胞结构和遗传物质,有效控制异养菌数量,保障回用系统长期稳定运行。

4 现存问题与发展策略

4.1 主要技术瓶颈

在煤化工废水处理与回用领域,当前技术面临着诸多亟待突破的瓶颈。成本高昂是制约行业发展的关键因素之一,从废水处理设施的建设、运行维护到药剂的持续投入,各个环节都需要大量的资金支持,这使得许多企业在废水处理与回用方面的积极性受到一定影响。

(1)高盐浓水的处理难度极大,高盐环境不仅会抑制微生物的活性,影响生物处理效果,而且传统的物理化学处理方法在高盐条件下也存在处理效率低、成本高的问题,导致高盐浓水难以得到有效处理和回用。(2)技术

集成度低也是一个突出问题。目前,煤化工废水处理各环节技术相对独立,缺乏有效的集成与协同,难以实现整体处理效果的最优化,导致处理效率不高、资源浪费严重。(3)部分有毒有机物的微量残留可能对回用水的安全性产生潜在威胁。这些有毒有机物结构复杂、性质稳定,难以被完全去除,而现有的检测技术对于微量有毒有机物的检测灵敏度和准确性有限,无法及时、准确地掌握回用水中这些物质的含量,给回用水的安全使用带来了一定的风险^[4]。

4.2 解决策略与技术创新

针对上述技术瓶颈,需要从多个方面进行技术创新和策略优化。在技术集成优化方面,开发“生物预处理-膜分离-高级氧化”耦合工艺具有重要的应用前景。生物预处理可以利用微生物的代谢作用去除废水中的部分有机物和氨氮,降低后续处理的负荷;膜分离技术能够高效地分离废水中的悬浮物、大分子有机物和盐分;高级氧化则可以进一步降解难降解有机物,提高出水水质。通过这三种技术的耦合,可以实现优势互补,减少氧化剂的用量,降低处理成本。(1)新型材料的研发是解决当前技术难题的关键。重点突破耐高盐、抗污染膜材料和高效催化剂的研发。耐高盐膜材料能够在高盐环境下保持稳定的分离性能,延长膜的使用寿命;抗污染膜材料可以减少膜表面的污垢附着,降低膜清洗频率和成本。高效催化剂则可以提高高级氧化反应的速率和效率,降低反应能耗和氧化剂用量。(2)在资源化利用方向,应积极推动浓水盐分结晶回收和有机物吸附-脱附回收技术的发展。通过结晶回收技术,可以将浓水中的盐分转化为有价值的化工产品,实现盐资源的循环利用;有机物吸附-脱附回收技术则可以将废水中的有机物进行回收再利用,减少资源浪费,同时降低废水处理的难度和成本,真正实现变废为宝。

4.3 智能化与绿色化发展

随着科技的不断进步,智能化与绿色化发展已成为煤化工废水处理与回用领域的必然趋势。引入物联网技

术构建水质在线监测系统,能够实时、准确地获取废水处理过程中各个环节的水质参数,如COD、氨氮、pH值等。通过对这些数据的分析和处理,及时调整工艺参数,实现处理过程的精准控制,减小处理效率的波动,提高处理效果和稳定性。(1)开发太阳能驱动的光催化-膜分离系统是一种绿色节能的创新举措。太阳能作为一种清洁能源,具有取之不尽、用之不竭的特点。利用太阳能驱动光催化反应和膜分离过程,可以降低对传统能源的依赖,减少能耗和运行成本,同时减少碳排放,实现废水处理的绿色化发展。(2)推广碳中和处理理念也是未来发展的重要方向。通过厌氧发酵产甲烷技术,可以将废水中的有机物转化为甲烷气体,作为一种清洁能源进行回收利用。这部分回收的能源可以用于废水处理设施的运行,抵消部分处理成本,实现废水处理的碳中和目标,促进煤化工行业的可持续发展。

结束语

煤化工废水处理与回用技术虽取得诸多进展,但仍面临成本、高盐浓水处理、技术集成度低等瓶颈。未来,需持续推进技术集成优化、新型材料研发与资源化利用,同时紧跟智能化与绿色化发展趋势,借助物联网、太阳能等前沿科技,实现废水处理精准调控与节能降耗。通过多维度创新与协同发展,突破现有局限,提升处理效率与回用率,推动煤化工行业废水处理与回用迈向高效、环保、可持续的新高度。

参考文献

- [1]王硕.煤化工废水零排放技术要点及问题的处理[J].化工设计通讯,2022,48(3): 12-14.
- [2]刘人铭,彭志强,李健,等.煤化工生产污水深度处理及回用技术[J].天津化工,2024,38(05):100-102.
- [3]塔斯很·阿勒太.煤化工生产污水深度处理及回用技术[J].化学工程与装备,2023,(03):233-235+232.
- [4]牛志军.煤化工废水处理工艺与适用性技术研究[J].山西化工,2024,44(03): 229-230+234.