

工业废水环保处理工艺的设计与优化

曹爱辉

中蓝连海设计研究院有限公司 上海 201204

摘要：工业废水环保处理工艺的设计与优化是保障水资源安全与生态环境健康的关键。本文深入探讨了物理、化学、生物处理及组合工艺在工业废水处理中的应用与优化策略，旨在提高处理效率、降低成本、实现资源化利用。通过精细格栅、高效沉淀、先进氧化还原、高效生物反应器及智能化管理等技术的引入，有效解决了传统处理工艺中的瓶颈问题，为工业废水处理提供了科学、高效、可持续的解决方案。

关键词：工业废水；环保处理；优化

1 工业废水环保处理工艺设计原则

1.1 高效性原则

工业废水处理工艺的总体设计必须严格遵循高效性原则，这是确保废水得到有效处理的关键所在。高效性原则要求工艺设计流程不仅要稳定可靠，还要具备出色的处理效率和抗冲击负荷能力。在实际操作中，这意味着废水处理系统应能够在各种工况下稳定运行，不受水质、水量波动的过大影响。工艺流程的设计还需兼顾灵活性，以便根据实际需求进行快速调整。为了实现这一目标，设备布置应尽可能合理，结构紧凑，减少不必要的浪费，从而提高处理效率。处理信息系统的运行也需具备高度的灵活性，能够实时监测水质水量变化，并根据实际情况自动调整处理参数，确保废水处理的高效性和稳定性。

1.2 经济性原则

在工业废水处理工艺设计中，经济性原则同样至关重要。这不仅仅是为了降低工程投资，更是为了在长期运行中实现节能降耗、提高经济效益。在选择处理技术和设备时，应充分考虑其运行成本和维护成本，确保所选方案在技术和经济上都是可行的。工艺设计还应尽可能利用现有资源和设施，减少不必要的重复建设，从而降低工程整体投资。为了实现这一目标，设计团队需要与相关部门紧密合作，共同制定科学合理的工艺方案，确保在满足环保要求的前提下，实现经济效益的最大化。在工艺运行过程中，还需采取一系列节能降耗措施，如优化设备运行参数、提高能源利用效率等，进一步降低运行成本。

1.3 环保性原则

工业废水处理工艺设计必须严格遵循环保性原则，以减少对周围环境的负面影响。这要求在处理过程中，不仅要关注废水的处理效果，还要注重资源的节约和环

境的保护^[1]。为了实现这一目标，应优先选用无毒或低毒的生产工艺代替或改革落后生产工艺，从源头上减少有毒有害废水的产生。对于含有剧毒物质的废水，如重金属、放射性物质等，应与其他废水分流处理，以便于回收有用物质并减少环境污染。在处理过程中还应采取适当的措施控制气味和噪声，减少对周围居民的干扰。设计团队还应充分考虑废水处理过程中产生的固体废物和污泥的处理和处置问题，确保整个处理过程符合环保要求。通过这些措施的实施，可以最大限度地减少工业废水对周围环境的影响，实现废水处理的可持续发展。

2 工业废水的来源、特点及危害

2.1 工业废水的主要来源

工业废水的主要来源广泛且多样，涵盖了工业生产过程中的各个环节。原料生产阶段往往伴随着大量废水的产生，这些废水可能含有原料的残留物、反应副产物以及清洗废水等。在产品制造过程中，由于各种化学反应、物理变化以及设备清洗等操作，也会产生大量的工业废水。工业冷却水是另一个重要的废水来源，它主要用于设备的冷却和温度调节，但在使用过程中会吸收和溶解大量的杂质和污染物。工业废水还可能来自于厂区内的生活污水和雨水排放，这些污水虽然相对较为清洁，但如果不经适当处理，仍可能对环境造成一定影响。

2.2 工业废水的特点

工业废水具有多种显著的特点，这些特点使得其处理难度相对较大。首先，工业废水的成分复杂多变，可能含有各种有毒有害物质，如重金属、有机物、酸碱物质等，这些物质对环境和生物具有潜在的危害。其次，工业废水的浓度和流量波动较大，这取决于生产过程的稳定性和生产规模的变化。另外，工业废水往往具有较高的温度和颜色，这增加了其处理的难度和成本。工业废水中的某些污染物还具有生物难降解性，这意味着传

统的生物处理方法可能无法有效去除这些污染物。最后,工业废水还可能含有放射性物质或具有腐蚀性,这进一步增加了其处理的复杂性和风险。

3 工业废水环保处理工艺的设计流程

3.1 废水预处理

工业废水环保处理工艺的设计流程始于废水预处理阶段,这是整个处理过程中不可或缺的一环。废水首先通过格栅系统,该系统由粗细格栅组成,用于截留废水中的大型固体杂质,如木块、塑料、金属碎片等。粗格栅通常设置于废水进入处理厂的最初阶段,其栅条间隙较大,用于去除较大的杂质。而细格栅则设置在后续处理阶段,其栅条间隙较小,能够进一步去除较小的悬浮物和漂浮物。格栅系统不仅保护了后续处理设备免受损坏,还提高了整个处理系统的稳定性和效率^[2]。经过格栅处理的废水进入调节池,该池的主要作用是均化水质和水量,由于工业废水的水质和水量往往波动较大,调节池能够暂时储存废水,通过混合和均质作用,使废水的水质和水量在一定范围内保持稳定。这有助于后续处理单元的稳定运行,避免了因水质水量突变而导致的处理效果下降。调节池的设计需考虑废水的停留时间、混合方式以及污泥的沉淀和排放。为了确保废水在池内的均匀混合,通常采用机械搅拌或空气搅拌方式。调节池还需配备污泥排放系统,定期将池底的沉积物排出,以避免污泥积累对水质造成二次污染。

3.2 主要处理单元

经过预处理后的废水进入主要处理单元,这一阶段包括物理、化学和生物处理等多种方法,旨在进一步去除废水中的污染物。物理处理单元主要利用物理作用去除废水中的污染物,如沉淀、过滤、气浮等。沉淀是通过重力作用使废水中的悬浮物下沉到底部,形成污泥,从而实现固液分离。过滤则是利用过滤介质(如砂、活性炭等)截留废水中的悬浮物和胶体物质。气浮则是通过向废水中注入微小气泡,使悬浮物附着在气泡上并随气泡浮升至水面,从而实现固液分离。化学处理单元主要通过化学反应去除废水中的污染物。常用的化学处理方法包括中和、混凝、沉淀、氧化还原等。中和是通过加入酸或碱调节废水的pH值,使其达到中性或接近中性,从而去除废水中的酸碱物质。混凝则是通过加入混凝剂使废水中的胶体物质和微小悬浮物聚集成较大的颗粒,便于后续沉淀去除。沉淀则是利用重力作用使废水中的化学沉淀物下沉到底部。氧化还原则是通过加入氧化剂或还原剂,将废水中的有毒有害物质转化为无毒或低毒物质。生物处理单元是利用微生物的代谢作用去除

废水中的有机物和氮、磷等营养物质。生物处理方法包括活性污泥法、生物膜法、厌氧消化等。活性污泥法是通过向废水中投加活性污泥(含有大量微生物的絮状体),利用微生物的吸附、降解作用去除废水中的有机物。生物膜法则是利用附着在载体表面的微生物膜去除废水中的污染物。厌氧消化则是在无氧条件下,利用厌氧微生物将有机物分解为甲烷和二氧化碳等气体。

3.3 深度处理与回用

经过主要处理单元处理后,废水中的大部分污染物已被去除,但部分难降解有机物、重金属离子等仍可能残留。膜分离技术是一种高效、节能的废水处理技术,包括微滤、超滤、纳滤和反渗透等。这些技术通过不同孔径的膜对废水进行过滤分离,能够去除废水中的微小颗粒、胶体物质、溶解性有机物和重金属离子等。膜分离技术具有操作简便、占地面积小、处理效果好等优点,被广泛应用于工业废水的深度处理和回用领域。高级氧化技术是通过产生强氧化性的自由基(如羟基自由基)来氧化分解废水中的有机物。这些自由基具有极强的氧化能力,能够迅速与有机物发生反应,将其分解为小分子物质甚至二氧化碳和水。高级氧化技术具有处理效率高、反应速度快、适用范围广等优点,特别适用于处理难降解有机物和有毒有害物质。

3.4 污泥处理与处置

在废水处理过程中,会产生大量的污泥。污泥中含有大量的有机物、重金属、微生物等有害物质,如果处理不当,会对环境和人类健康造成威胁。污泥处理的主要目的是减少污泥的体积、提高污泥的稳定性并去除其中的有害物质。常用的污泥处理方法包括浓缩、稳定化、脱水等。浓缩是通过物理或化学方法减少污泥的含水量,提高污泥的浓度。稳定化则是通过生物或化学方法使污泥中的有机物分解转化,降低其生物活性。脱水则是通过机械或化学方法进一步去除污泥中的水分,使其达到便于运输和处置的含水量。污泥处置的方式多种多样,包括填埋、焚烧、土地利用等。填埋是将污泥运至指定的填埋场进行填埋处理,但需注意防止渗滤液对环境的污染。焚烧则是将污泥进行高温焚烧处理,将其转化为灰渣和烟气。土地利用则是将处理后的污泥作为肥料或土壤改良剂使用于农田或园林等场所。在选择污泥处置方式时,需综合考虑污泥的性质、处理成本、环境影响以及法律法规等因素^[3]。

4 工业废水环保处理工艺优化策略

4.1 物理处理工艺优化

工业废水环保处理工艺的优化,首先聚焦于物理处

理工艺的改进与创新。传统的格栅与筛网技术虽能有效拦截大块杂质,但对于微小颗粒的去除效果有限。因此优化策略之一在于采用更为精细的格栅与筛网技术,如自动反冲洗精细格栅和微孔筛网,这些技术能够显著提升对微小悬浮物的截留效率,减少后续处理负荷。高效沉淀技术通过优化沉淀池设计,如采用斜板(管)沉淀池,增加沉淀面积,加速颗粒沉降速度,从而提高沉淀效率。气浮技术则通过引入微细气泡,增强悬浮物的附着能力,提高气浮去除率。近年来,超临界流体气浮、电解气浮等新型气浮技术的发展,进一步提升了处理效果,降低了能耗。膜分离技术以其高效、节能的特点,在工业废水处理中展现出巨大潜力。优化策略包括选用更适宜的膜材料,如抗污染、高通量的复合膜,以及优化膜组件设计,如采用错流过滤方式减少膜污染,膜清洗与再生技术的研发也是提升膜分离效率的关键。

4.2 化学处理工艺优化

化学处理工艺的优化旨在通过调整化学药剂种类、用量及反应条件,提高污染物去除效率,同时减少化学试剂消耗和二次污染。混凝剂的选择直接影响混凝效果。优化策略包括根据废水水质特性,筛选出高效、低毒的混凝剂,如无机高分子混凝剂、有机合成高分子混凝剂等。添加助凝剂如PAM(聚丙烯酰胺)可进一步增强混凝效果,减少混凝剂用量。氧化还原反应是去除废水中难降解有机物、重金属离子的有效手段。优化策略包括采用高效催化剂加速反应速率,如Fenton试剂、臭氧催化氧化等;以及开发新型氧化还原剂,如过硫酸盐、高铁酸盐等,以提高处理效率和选择性。化学沉淀与中和技术常用于去除废水中的重金属离子、酸碱物质。优化策略在于精确控制反应条件,如pH值、温度、搅拌强度等,以及采用分步沉淀、共沉淀等技术提高沉淀效率。

4.3 生物处理工艺优化

生物处理工艺的优化关键在于提高生物反应器的效能,增强微生物的降解能力,以及优化运行参数。高效生物反应器,如序批式活性污泥反应器(SBR)、膜生物反应器(MBR)等,通过优化反应器结构、提高生物量浓度、强化传质效率等手段,显著提升了处理效率。优化策略包括采用新型填料、优化曝气方式、引入微生物固定化技术等。微生物群落结构的优化对于提高生物降

解效率至关重要。通过筛选驯化高效降解菌种、构建微生物共生体系、利用基因工程技术改造微生物等策略,可显著提升微生物对特定污染物的降解能力^[4]。优化生物处理工艺的运行参数,如溶解氧浓度、有机负荷、水力停留时间等,对于提高处理效率和稳定性具有重要意义。

4.4 组合工艺优化

组合工艺优化策略在于将物理、化学、生物等多种处理方法有机结合,形成优势互补,实现废水的高效、低成本处理。根据废水水质特点和处理目标,合理设计工艺流程,如采用“预处理+生物处理+深度处理”的组合模式,既保证了处理效率,又降低了运行成本。优化策略包括工艺流程的简化、模块化设计以及灵活调整各处理单元的顺序和组合方式。智能化管理与控制是实现组合工艺优化的关键。通过集成传感器、自动化控制系统、大数据分析等技术,实现废水处理过程的实时监测、预警与智能决策,提高处理效率,降低运营成本。在组合工艺优化中,注重废水的资源化利用和循环利用,如将处理后的废水回用于生产或作为其他用途的水资源,以及将污泥转化为能源或肥料等,既实现了环境效益,又促进了经济效益的提升。

结束语

综上所述,工业废水环保处理工艺的设计与优化是一项系统工程,需要综合考虑水质特性、处理目标、经济成本及环境影响等多方面因素。随着科技的进步和环保意识的增强,未来工业废水处理将更加高效、智能、绿色。相信通过持续的技术创新与优化,定能为工业废水处理领域带来更加广阔的发展前景,为保护地球水资源贡献我们的力量。

参考文献

- [1]彭蜀娟.化工企业废水处理现状及处理工艺分析[J].山西化工,2022,42(3):302-303.
- [2]曹桂仙,张晓琦.化工工业废水处理工艺分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2023(5):24-27.
- [3]王荣.化工企业污水处理技术方法研究与应用[J].山西化工,2023,44(1):274-276.
- [4]董海威.化工工业废水的处理工艺分析[J].清洗世界,2024,40(08):39-41.