

# 污水厂改造工程中臭氧-活性炭深度处理工艺的运行优化

丁娇

江苏南方苏嘉环境工程有限公司，江苏无锡

DOI: 10.62836/gse.v3i1.1120

**摘要:** 本文聚焦污水厂改造工程中臭氧-活性炭深度处理工艺的运行优化。首先阐述了臭氧-活性炭工艺原理，包括臭氧氧化和活性炭吸附原理及其在污水处理中的应用。接着介绍污水厂改造工程的目标、要求、前期准备与规划。重点探讨了臭氧-活性炭工艺的运行优化，如臭氧投加量和活性炭再生与更换周期的优化。同时分析运行优化中的关键参数控制，涵盖臭氧发生器效率及活性炭床层流速与接触时间控制。最后进行污水处理效果评估与监测，对比处理前后水质指标，强调持续监测与数据分析的重要性。

**关键词:** 污水厂改造工程；臭氧-活性炭深度处理工艺；运行优化；关键参数控制

---

## Operation Optimization of Ozone-Activated Carbon Advanced Treatment Process in Wastewater Treatment Plant Renovation Project

Jiao Ding

Jiangsu Nanfang Sujia Environmental Engineering Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu

**Abstract:** This paper focuses on the operation optimization of the ozone-activated carbon advanced treatment process in wastewater treatment plant renovation projects. First, the principles of the ozone-activated carbon process are explained, including the principles of ozone oxidation and activated carbon adsorption and their applications in wastewater treatment. Then, the goals, requirements, preliminary preparations, and planning of the wastewater treatment plant renovation project are introduced. The operation optimization of the ozone-activated carbon process is discussed in detail, such as the optimization of ozone dosage and activated carbon regeneration and replacement cycles. The control of key parameters in the operation optimization is analyzed, covering the ozone generator efficiency and the control of activated carbon bed flow rate and contact time. Finally, the wastewater treatment effect is evaluated and monitored, comparing water quality indicators before and after treatment, emphasizing the importance of continuous monitoring and data analysis.

**Keywords:** wastewater treatment plant renovation project; ozone-activated carbon advanced treatment process; operation optimization; key parameter control

## 1 臭氧-活性炭工艺原理

### 1.1 臭氧氧化原理及其在污水处理中的应用

臭氧是一种强氧化剂，其氧化能力在天然元素中仅次于氟。在污水处理过程中，臭氧的氧化作用主要基于其分解产生的具有高反应活性的羟基自由基。这些羟基自由基能够与污水中的多种有机和无机污染物发生反应，将其分解为小分子物质，甚至完全矿化为二氧化碳和水[1]。

在污水处理中，臭氧氧化可用于去除多种污染物。对于难降解的有机化合物，如农药、染料、酚类等，臭氧氧化能够破坏其分子结构，降低其毒性和生物难降解性，提高污水的可生化性，为后续的生物处理创造有利条件。同时，臭氧还能有效去除污水中的色度和异味，改善水质的感官指标[2]。

此外，臭氧氧化还可以杀灭污水中的细菌、病毒等病原体，起到消毒杀菌的作用。在一些对微生物指标要求较高的污水处理场景中，臭氧氧化是一种重要的消毒手段。而且，臭氧在完成氧化反应后会迅速分解为氧气，不会产生二次污染，这使得它在污水处理领域具有显著的优势。

### 1.2 活性炭吸附原理及其在污水处理中的应用

活性炭是一种具有高度发达孔隙结构和巨大比表面积的吸附材料。其吸附原理主要基于物理吸附和化学吸附。物理吸附是由于活性炭的孔隙结构和分子间的范德华力，使得污水中的污染物分子被吸附到活性炭的表面。活性炭的微孔结构提供了大量的吸附位点，能够吸附各种大小的分子，尤其是对小分子有机物有较好的吸附效果。化学吸附则是通过活性炭表面的官能团与污染物发生化学反应，形成化学键，从而实现了对污染物的吸附[3]。

在污水处理中，活性炭吸附具有广泛的应用。它可以有效去除污水中的有机污染物，如苯、甲苯、二甲苯等芳香烃类化合物，以及酚类、醛类等含氧有机物。这些有机污染物通常具有较强的毒性和难降解性，通过活性炭的吸附作用，可以显著降低其在污水中的浓度。同时，活性炭还能去除污水

中的重金属离子，如铅、汞、镉等。活性炭表面的官能团可以与重金属离子发生络合反应，将其固定在活性炭表面，从而达到去除重金属的目的。

此外，活性炭吸附还可以改善污水的色度和异味。污水中的一些有色物质和具有特殊气味的物质可以被活性炭吸附，使污水的感官指标得到明显改善。在污水处理工艺中，活性炭吸附通常作为深度处理的环节，与其他处理工艺相结合，进一步提高污水处理的效果。例如，在臭氧氧化之后，利用活性炭吸附可以去除臭氧氧化过程中产生的中间产物和残留的臭氧，使水质更加稳定。

## 2 污水厂改造工程概述

### 2.1 改造工程的目標与要求

本次污水厂改造工程的目標是全面提升污水处理效能，确保出水水质稳定达到国家相关环保标准。具体而言，要进一步降低污水中的有机污染物、重金属离子等有害物质的含量，使处理后的水能够安全排放或进行回用。同时，提高污水处理过程的稳定性和可靠性，减少因设备故障或工艺波动导致的水质波动。

在要求方面，改造工程需遵循环保法规和行业标准，采用先进且成熟的臭氧-活性炭深度处理工艺。要合理规划改造工期，尽量减少对污水厂正常运行的影响。此外，还需控制改造成本，在保证处理效果的前提下，实现经济效益的最大化[4,5]。

### 2.2 改造工程的早期准备与规划

首先要组建专业的项目团队，成员涵盖工艺设计、设备安装、安全管理等多领域专业人才。接着对污水厂现有的设施设备进行全面检查和评估，详细记录设备的运行状况、使用年限等信息，为后续改造提供依据。同时，收集污水厂的历史水质数据，分析水质变化规律，以便精准确定改造方案。还要与相关供应商沟通，确定臭氧发生器、活性炭等关键设备和材料的供应渠道和采购计划。此外，制定详细的施工计划和进度安排，合理安排施工顺序和时间节点，确保改造工程能按计划有序推进，尽量降低对污水厂日常运行的干扰。

## 3 臭氧-活性炭工艺的运行优化

### 3.1 臭氧投加量的优化

合理的臭氧投加量不仅能有效去除污水中的污染物,还能避免因过量投加造成的资源浪费和潜在的二次污染。首先,需要根据污水的水质特点来确定初始的臭氧投加量。不同的污水含有不同种类和浓度的污染物,例如工业污水可能含有大量的重金属和难降解有机物,而生活污水则主要以有机物和微生物为主。对于含有较多难降解有机物的污水,需要适当提高臭氧投加量,以增强氧化效果。

同时,要考虑污水的流量变化。污水流量的波动会影响臭氧与污水的接触时间和反应效果。当污水流量较大时,为了保证处理效果,可能需要增加臭氧投加量;反之,当流量较小时,可以适当减少投加量。

还可以通过在线监测设备实时监测污水中的污染物浓度和臭氧残留量,根据监测结果动态调整臭氧投加量。例如,当监测到污水中某污染物浓度升高时,及时增加臭氧投加量;当臭氧残留量过高时,适当降低投加量。

此外,季节变化也会对臭氧投加量产生影响。在夏季,水温较高,微生物活动旺盛,污水中的有机物分解速度较快,可能需要相对较少的臭氧投加量;而在冬季,水温较低,微生物活性减弱,可能需要增加臭氧投加量来保证处理效果。通过综合考虑污水水质、流量、季节等因素,对臭氧投加量进行优化,可以提高臭氧-活性炭工艺的运行效率和处理效果,实现污水处理的高效、稳定和经济运行。

### 3.2 活性炭再生与更换周期的优化

合理确定活性炭的再生与更换周期对于臭氧-活性炭工艺的稳定运行和成本控制至关重要。活性炭在使用过程中,其吸附能力会随着时间逐渐下降,当吸附达到饱和状态时,就需要进行再生或更换。

再生周期的确定需要综合考虑多个因素。首先是进水水质,如果污水中污染物浓度较高,活性炭的吸附速度会加快,再生周期就需要相应缩短。例

如,当污水中含有大量的溶解性有机物、重金属离子等物质时,活性炭会快速吸附这些污染物,可能在较短时间内就达到饱和。其次是运行时间,随着活性炭使用时间的增加,其内部的微孔结构会逐渐被堵塞,吸附性能也会下降。一般来说,连续运行一定时间后,就需要对活性炭进行再生处理。

更换周期的优化同样不容忽视。当活性炭经过多次再生后,其吸附性能可能无法恢复到初始状态,此时就需要进行更换。此外,活性炭的物理性能也会影响更换周期,如活性炭的强度、耐磨性等。如果活性炭在运行过程中容易破碎,导致床层阻力增加,就需要及时更换。

可以通过定期对活性炭的吸附性能进行检测,来准确判断再生与更换的时机。例如,采用碘值、亚甲蓝值等指标来评估活性炭的吸附能力。当这些指标下降到一定程度时,就可以考虑进行再生或更换。同时,还可以结合实际运行经验,建立一套科学合理的活性炭再生与更换周期优化方案,以确保臭氧-活性炭工艺的高效运行。

## 4 运行优化中的关键参数控制

### 4.1 臭氧发生器的效率与控制

臭氧发生器的效率直接关系到臭氧的产生量和质量,而合理的控制则能确保臭氧在合适的时间和剂量下投入使用。首先,臭氧发生器的效率受多种因素影响,如电源的稳定性、电极的材质和状态、冷却系统的性能等。电源不稳定可能导致发生器无法正常工作,产生的臭氧量波动较大,从而影响处理效果。电极的材质和状态也至关重要,优质的电极能够提高臭氧的产生效率,而电极的磨损和老化则会降低其性能。冷却系统的作用是维持发生器的正常温度,过高的温度会使臭氧分解,降低发生器的效率。

为了提高臭氧发生器的效率,需要对这些因素进行严格控制。选择质量可靠、性能稳定的电源,定期对电极进行检查和维护,确保冷却系统的正常运行。同时,还可以通过优化发生器的运行参数,如电压、电流、气体流量等,来提高臭氧的产生效率。例如,适当提高电压可以增加臭氧的产生量,

但过高的电压可能会对发生器造成损坏，因此需要根据实际情况进行调整。

在臭氧发生器的控制方面，需要根据污水处理的实际需求，精确控制臭氧的投加量和投加时间。可以通过安装在线监测设备，实时监测污水中的污染物浓度和水质指标，根据监测结果自动调节臭氧发生器的运行参数。此外，还可以采用智能控制系统，根据不同的水质情况和处理要求，自动选择合适的臭氧投加策略，实现臭氧的精准投加。这样不仅可以提高污水处理的效果，还能降低运行成本。

## 4.2 活性炭床层的流速与接触时间控制

合适的流速能够保证污水在活性炭床层中有足够的停留时间，使活性炭发挥最大的吸附效能。如果流速过快，污水与活性炭的接触时间过短，污染物可能来不及被充分吸附就流出了床层，导致处理效果不佳；而流速过慢，则会降低处理效率，影响整个污水处理系统的运行能力。

为了确定最佳的流速，需要综合考虑多个因素。首先是污水的水质特性，不同类型和浓度的污染物在活性炭上的吸附速率不同，对于含有高浓度难吸附污染物的污水，可能需要适当降低流速以延长接触时间。其次是活性炭的性质，如颗粒大小、孔隙结构等，这些因素会影响污水在床层中的流动状态和吸附效果。一般来说，较小颗粒的活性炭具有较大的比表面积，吸附能力较强，但可能会导致床层阻力增大，需要相应调整流速。

在实际运行中，可以通过实验和模拟来确定合适的流速范围。例如，在实验室中搭建小型的活性炭吸附装置，模拟不同流速下的污水处理过程，分析出水水质的变化情况，从而找出既能保证处理效果又能满足处理量要求的最佳流速。同时，还可以利用计算机模拟软件，建立活性炭吸附过程的数学模型，预测不同工况下的处理效果，为实际运行提供参考。

除了流速控制，接触时间的精确把握也至关重要。接触时间不仅取决于流速，还与活性炭床层的高度和结构有关。增加床层高度可以延长污水与活性炭的接触路径，从而增加接触时间，但过高的床

层会增加水头损失，提高运行成本。因此，需要在保证处理效果的前提下，合理设计床层高度。

为了确保接触时间的稳定性，还可以采用分段进水、循环处理等方式。分段进水可以使不同阶段的污水在床层中得到更充分的处理，提高整体的吸附效果；循环处理则可以将部分出水回流至进水端，增加污水与活性炭的接触次数，进一步提高污染物的去除率。通过这些措施，可以有效地控制活性炭床层的流速与接触时间，提高臭氧-活性炭深度处理工艺的运行效果和稳定性。

## 5 污水处理效果评估与监测

### 5.1 污水处理前后水质指标对比

进行污水处理前后水质指标对比，能直观地展现臭氧-活性炭深度处理工艺的效果。在化学需氧量方面，处理前污水中该指标往往较高，反映出污水中有机物含量大。经过处理后，化学需氧量显著降低，说明大部分有机物被有效去除。氨氮含量也是重要指标，处理前氨氮含量可能超出排放标准，处理后氨氮含量大幅下降，表明工艺对含氮污染物的处理效果良好。此外，浊度也是关键指标，处理前污水较为浑浊，处理后的水浊度明显降低，水质变得清澈。通过这些指标的对比，可以量化评估该处理工艺对污水的净化能力，为工艺的持续优化提供有力依据，确保污水厂稳定达到预期的处理效果。

### 5.2 持续监测与数据分析的重要性

在污水处理过程中，持续监测与数据分析能够及时捕捉水质的动态变化。通过长期的连续监测，可以观察到不同季节、不同时间段水质的波动情况，提前预警可能出现的水质恶化问题。数据分析则能深入挖掘监测数据背后的规律，例如找出臭氧投加量、活性炭使用周期与水质指标之间的内在联系，从而精准地调整运行参数。同时，持续监测与数据分析还能评估工艺的长期稳定性和可靠性，为工艺的进一步改进提供方向，确保污水处理厂始终高效、稳定地运行，实现对水资源的有效保护和合理利用。

## 6 结语

总之, 污水厂改造工程中臭氧-活性炭深度处理工艺的运行优化是一个系统且复杂的过程。从臭氧投加量和活性炭再生更换周期的优化, 到关键参数的精准控制, 再到污水处理效果的科学评估与监测, 每一个环节都紧密相连, 对提升污水处理效率和质量起着关键作用。通过持续监测与数据分析, 能够及时掌握水质动态, 为工艺的持续改进提供方向。在未来, 应进一步深入研究该工艺的运行机制, 结合新技术和新方法, 不断优化工艺参数, 提高污水处理的稳定性和可靠性。

## 参考文献

- [1] 武珉辉,石焱,夏萍,等.臭氧/双氧水/活性炭深度处理中试工艺效能评估[J].给水排水,2023(02):1-7.
- [2] 张晓娜,何嘉莉,陈卓华,等.某水厂臭氧/活性炭深度处理工艺运行效果[J].中国给水排水,2023(01):43-46.
- [3] 戈玮焜.臭氧氧化深度处理工艺对有机污染物去除效果研究[J].黑龙江环境通报,2023(04):30-32.
- [4] 钟楚娴.臭氧-活性炭工艺污水处理厂深度处理中试研究[J].水处理技术.2023,47(10):117-120.
- [5] 刘立.臭氧活性炭深度处理工艺应用研究[J].绿色科技.2022(16):78-79.

