

旋流气搅拌技术在缺氧池搅拌中的应用研究

毛彦俊, 任凤伟, 高士强

北京碧水源膜科技有限公司装备技术部, 北京

收稿日期: 2024年5月8日; 录用日期: 2024年6月8日; 发布日期: 2024年6月26日

摘要

在一体化污水净化设备(CWT)中, 反应器中混合液的混合程度是影响生化反应的效率的关键因素, 在缺氧池中, 一般采用机械搅拌的方式使混合液混合均匀。由于CWT的池型长宽比例各异, 搅拌器的选型、安装位置对搅拌均匀性影响较大, 再加上有时污泥浓度过高, 进水中杂质较多, 搅拌器容易损坏, 一旦搅拌器发生故障, 维修不便, 影响设备的正常运行。本文将旋流气搅拌技术应用于缺氧池搅拌中, 通过改进其结构形式, 控制曝气量, 最终实现了缺氧池的高效搅拌, 同时使缺氧池的溶解氧维持为在0.20 mg/L以下, 旋流气搅拌技术的主要特点是在不停机、不排水的情况下实现安装和检修, 与机械搅拌相比, 成本低, 使用寿命长, 且搅拌效果好。

关键词

一体化污水净化设备(CWT), 缺氧池, 旋流气搅拌, 气水比

Application Research of Swirl Gas Stirring Technology in Anoxic Tank Stirring

YanJun Mao, Fengwei Ren, Shiqiang Gao

Department of Equipment Technology, Beijing Origin Water Membrane Technology Co. Ltd., Beijing

Received: May 8th, 2024; accepted: Jun. 8th, 2024; published: Jun. 26th, 2024

Abstract

In Compact Water Treatment System (CWT), the mixing degree of mixture in the reactor is the key factor affecting the efficiency of biochemical reaction. In the anoxic tank, mechanical stirring is generally used to make the mixture uniform. Because of the different proportion of length and width in CWT pool, the selection and installation position of mixer have great influence on the uniformity of mixing. Sometimes, the highly concentrated active sludge and the large number of im-

purities may cause the mixer damage. Once the mixer breaks down, the maintenance is inconvenient, which affects the normal operation of the equipment. In this paper, swirl gas stirring technology was applied to the stirring of anoxic tank. By improving its structure and controlling aeration volume, the efficient stirring of anoxic tank was realized, and the dissolved oxygen of anoxic tank maintained below 0.20 mg/L. The main characteristic of swirl gas mixing technology is that it can be installed and repaired without shutdown and drainage. Compared with mechanical mixing equipment, it has low cost, long service life and good mixing effect.

Keywords

Compact Water Treatment System (CWT), Anoxic Pool, Swirl Gas Stirring, Ratio of Gas to Water

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 简介

目前,农村的环境建设与高速的经济发展严重不同步,其中水环境污染问题尤为严重[1]。针对农村污水及分散式污水处理,一体化污水净化设备(CWT),采用“AO + MBR + 化学除磷”工艺[2],可去除原水中的COD、氨氮、总氮、总磷及SS,产水优于GB 18918-2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准。CWT在实际运行过程中,无论是好氧池还是缺氧池,都要保证活性污泥处于悬浮状态,并与相应的基质(污染物)动态混合,同时维持所需的氧化还原电位,以保证相应的生化反应能够顺利进行,从而降解有机物,去除氮、磷等污染物[3]。因此,反应池和与其相应的配套混合设备成为生化法去除有机物、脱氮系统设计和运行的关键。

目前最常用的混合设备按作用方式可分为水力搅拌、机械搅拌及曝气搅拌[4]。其中,水力搅拌强度大,作用力到达之处液体混合均匀,但是能耗大,作用区域不均衡,容易存在死区和池底积泥,不但使反应器有效容积减小,而且可能影响反应器正常运行。机械搅拌是目前水处理工艺缺氧池中运用最为广泛的一种搅拌方式,通过叶轮的转动带动流体旋转使混合液处于悬浮和混合状态,完成反应池内活性污泥与污染物的混合与反应过程,具有混合效率高,受水量变化影响较小,单位面积混合水量较大,对水温、水质变化的适应性强等优点。[5]然而,在前期实验过程中我们发现,CWT系列产品池型长宽比例各异,搅拌器的选型、安装方式对搅拌效果影响很大,再加上有时污泥浓度过高,进水中杂质较多,搅拌器容易损坏,一旦搅拌器发生故障,维修不便,影响设备的正常运行,且搅拌器的更换成本较高,后期更换也将大大影响用户的体验。

旋流曝气器是应用于好氧池曝气的一种设备,在运行过程中具有以下特点,一是在曝气器内,空气带着水流以旋转流的形式上升,曝气器下部形成真空环境对底部的污泥具有较大的气力提升作用;二是曝气器内具有多个带有齿轮的剪切片,空气在上升过程中,大气泡不断被剪切成小气泡,以增加空气与水的接触面积,提高氧气的转移效率;三是曝气器上端出气口具有齿状的导流罩,使曝气器内出来的空气具有更大的扩散范围,以增加曝气器的服务面积。

本研究主要对旋流曝气器进行改进,将曝气器内部的齿状剪切片更换为无齿导流板,将上部导流罩上的齿磨掉,保留其特点一和特点三,并配合曝气量等工艺条件的研究,将其应用于缺氧池曝气中,使其在提高搅拌效果的同时具有较低的氧转移效率,从而达到缺氧池高效搅拌的目的。

2. 旋流曝气器的结构形式及安装方式

2.1. 旋流曝气器的结构形式

如图 1 所示,传统用于好氧池曝气搅拌器由分流板、大圈、中心棒、双头内丝、管帽及紧固件组成。所有金属零件材质为 SUS304 不锈钢,分流板与大圈材质为 ABS。在好氧环境中,溶氧效率的高低决定了曝气器的性能优劣,因此好氧曝气器的分流板和大圈需要采用锯齿状的结构,保证曝气过程中通过切割作用减小气泡尺寸,提高溶氧效率。本研究所用的曝气器主要是需要通过曝气作用实现泥水的充分混合,由于在缺氧条件下运行,需要对影响曝气器进行结构改进,尽可能降低溶氧效率,如图 2 和图 3 所示,尽可能保证表面的光洁度。



Figure 1. Profile of swirl aerator
图 1. 旋流曝气器外观图

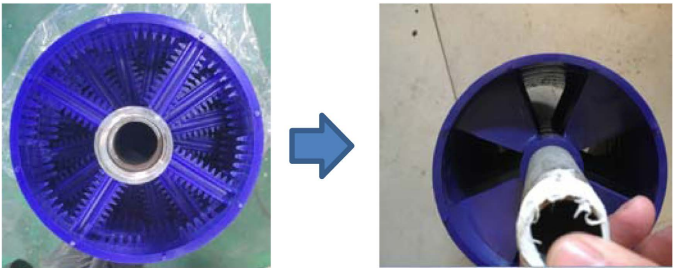


Figure 2. Contrast diagram of main structure of swirl aerator before and after change
图 2. 旋流曝气器主体结构的更改前后对比图

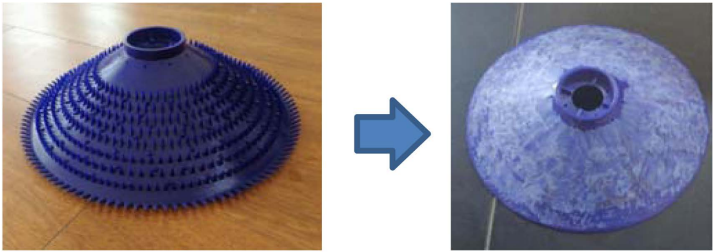


Figure 3. Contrast chart of swirl aerator guide cover before and after change
图 3. 旋流曝气器导流罩的更改前后对比图

2.2. 旋流曝气器的安装布局及安装方式

共对 4 套 CWT-A-300 进行了改造,经过对比实验,CWT-A-300 缺氧池箱体中最佳曝气器个数为 7

个，布局方式如图 4，7 个曝气器分两排(3/4 分)均匀分布在缺氧池中，每个曝气器可单独拆卸，通过电磁阀实现两排曝气器交替曝气，单排曝气器的曝气周期为 5~10 分钟。研究发现，在旋流曝气作用下，影响其缺氧池污泥分布均匀性的主要因素，主要是曝气量，曝气器的分布，以及污泥浓度等。总的来说，曝气量越大越有利于污泥在水中的分散，同时要兼顾溶解氧对缺氧环境的影响，另外曝气器的间距和深度，随污泥浓度的不同均呈现不同的规律性，具体详见本研究第三节部分。图 5 为曝气器单排安装示意图，气搅拌服务半径约 1.3~1.7 m，供气主管道 DN40，碳钢，末端支路 DN25，UPVC 管。

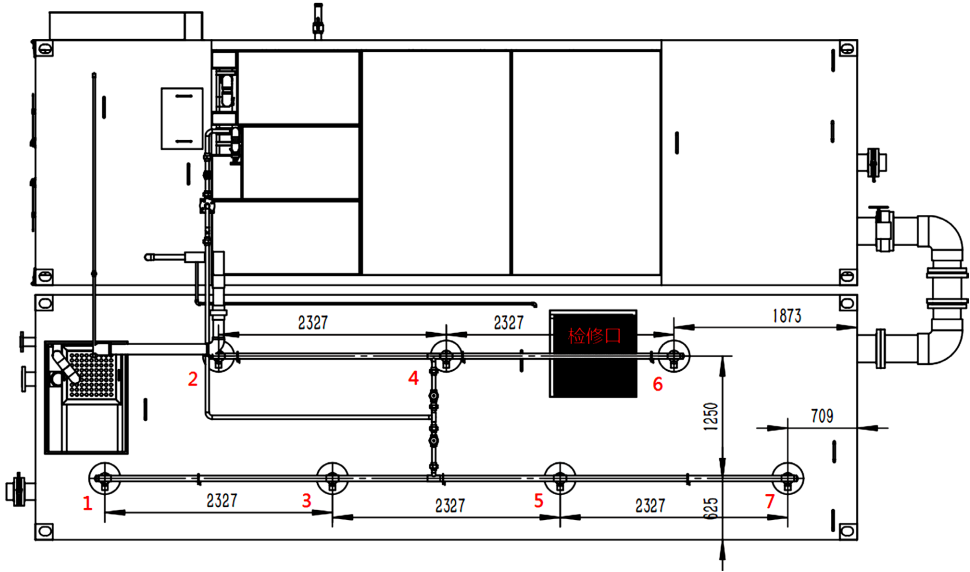


Figure 4. Schematic layout of swirl aerator in CWT-A-300 (top view)
图 4. CWT-A-300 中旋流曝气器布局示意图(俯视图)

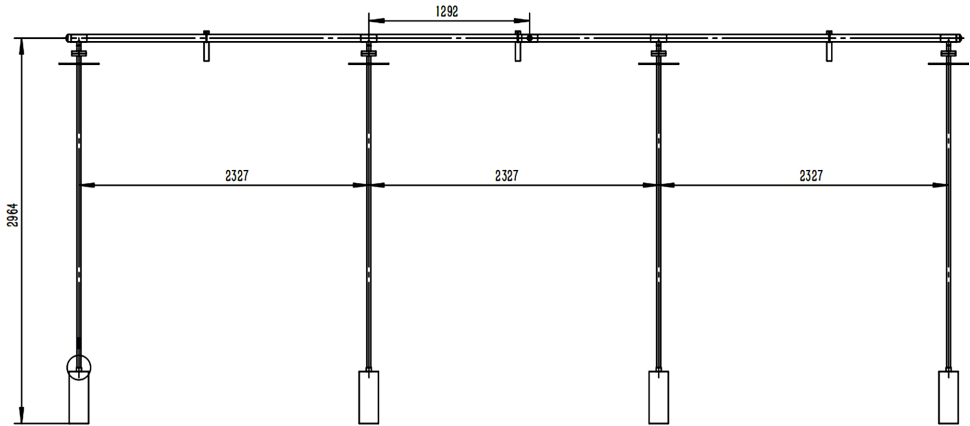


Figure 5. Installation schematic diagram of swirl aerator in CWT-A-300 (face view)
图 5. CWT-A-300 中旋流曝气器安装示意图(正视图)

3. 旋流曝气器的曝气搅拌效果

3.1. 曝气量对缺氧池溶解氧的影响

表 1 为缺氧池气水比与缺氧池内的溶解氧之间的关系，可见，在气水比低于 3:1 时，缺氧池内的溶解氧都在 0.5 mg/L 以下，可满足反硝化反应的需求。

Table 1. The relationship between the ratio of air to water and dissolved oxygen in anoxic tank
表 1. 缺氧池气水比与溶解氧的关系

缺氧池气水比	3:1	2:1	1.5:1	1:1
缺氧池溶解氧 mg/L	0.56	0.33	0.19	0.13

3.2. 缺氧池的搅拌均匀性分析

缺氧池能够实现均匀搅拌是本研究的主要目的，本研究主要通过测试不同位置不同深度下的污泥浓度来衡量搅拌的均匀性，分别在气水比为 2:1、1.5:1、1:1 下进行了测试，结果如表 2~4 所示。

Table 2. Sludge concentration at different positions and depths at gas-water ratio of 2:1
表 2. 气水比 2:1 时不同位置不同深度下的污泥浓度

测试位置	污泥浓度, g/L			
	表面	水深 0.8 米	水深 2.1 米	水深 2.3 米
1 号口	8.43	8.54	8.33	10.5
检修口	8.33	8.47	8.42	黑泥
7 号口	8.38	8.26	8.28	9.5

注：总水深 2.5 米。

Table 3. Sludge concentration at different positions and depths at gas-water ratio of 1.5:1
表 3. 气水比 1.5:1 时不同位置不同深度下的污泥浓度

测试位置	污泥浓度, g/L			
	表面	水深 0.8 米	水深 2.1 米	水深 2.3 米
1 号口	8.53	8.42	8.61	11.8
检修口	8.26	8.19	8.65	黑泥
7 号口	8.09	8.46	8.37	11.2

注：总水深 2.5 米。

Table 4. Sludge concentration at different positions and depths at gas-water ratio of 1:1
表 4. 气水比 1:1 时不同位置不同深度下的污泥浓度

测试位置	污泥浓度, g/L			
	表面	水深 0.8 米	水深 2.1 米	水深 2.3 米
1 号口	7.23	8.05	10.52	黑泥
检修口	7.01	8.59	11.24	黑泥
7 号口	6.95	7.93	10.92	黑泥

注：总水深 2.5 米。

在 1 号口、7 号口和检修口三处取样，测试不同深度下的污泥浓度，在气水比为 2:1、1.5:1 时，三处

水深 2.1 米以上的部分污泥浓度相近,推测池体内的大部分区域的污泥处于均匀混合状态,水深 2.3 米处的污泥浓度明显高于上部区域,且曝气器附近的污泥浓度低于曝气器外的区域(如检修口),说明了旋流曝气器具有提升池体污泥的作用,同时此气量不足以完全提升底部的积泥。考虑到尽可能的降低缺氧池内的溶解氧,实际运行的气水比选择 1.5:1。而在气水比为 1:1 时,池体内的污泥浓度自上而下逐渐升高,说明此气量不足以使缺氧池内的污泥搅拌均匀。

3.3. 旋流气搅拌改造后的产水水质及运行稳定性分析

缺氧池旋流气搅拌与机械搅拌的 CWT 产水水质如图 6、图 7、图 8,由图可得,两种搅拌方式下,产水总氮、COD、氨氮没有明显变化规律,主要原因是 CWT 的产水水质不只与缺氧池混合均匀性有关,还受污泥浓度、溶解氧、污泥的性质等因素相关。缺氧池增加旋流气搅拌后,产水总氮没有升高,说明该曝气形式没有影响反硝化反应,对其他反应的影响也较小。

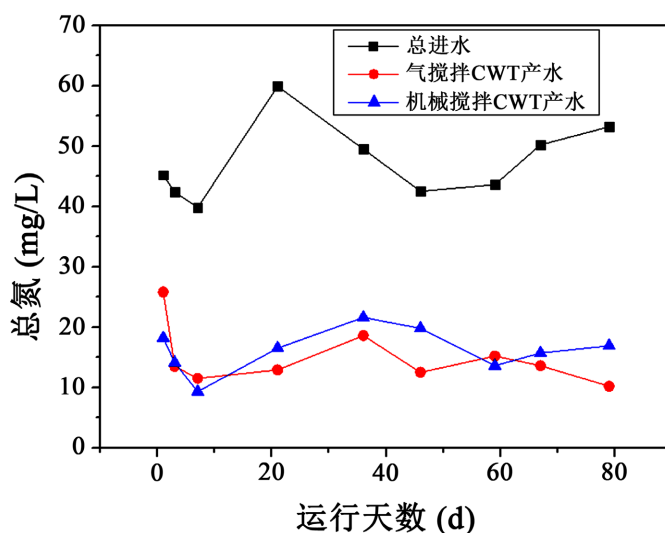


Figure 6. Effects of anoxic pool gas stirring and mechanical stirring on total nitrogen in CWT water production

图 6. 缺氧池气搅拌与机械搅拌对于 CWT 产水总氮的影响

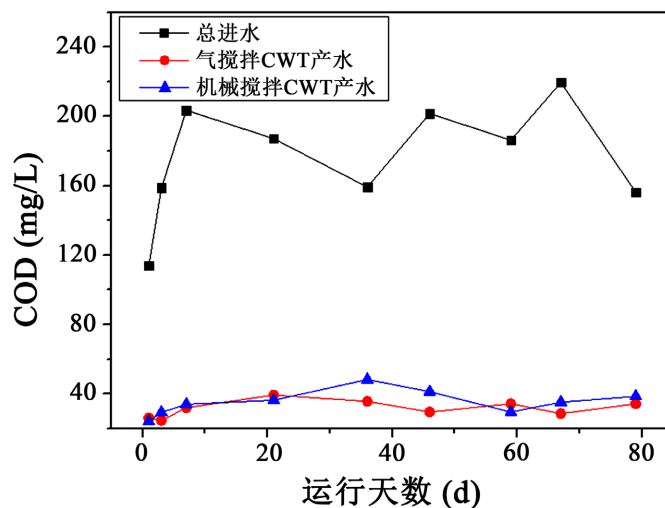


Figure 7. Effect of anoxic pool gas stirring and mechanical stirring on COD in CWT water production

图 7. 缺氧池气搅拌与机械搅拌对于 CWT 产水 COD 的影响

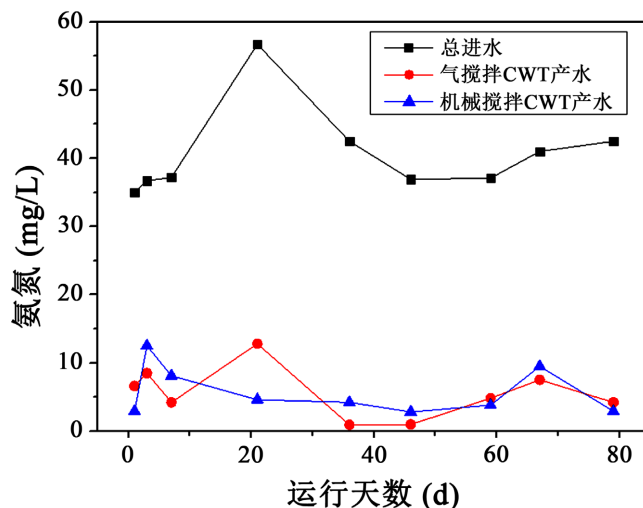


Figure 8. Effect of anoxic pool gas stirring and mechanical stirring on ammonia nitrogen in CWT water production
图 8. 缺氧池气搅拌与机械搅拌对于 CWT 产水氨氮的影响

3.4. 旋流气搅拌的运行能耗及稳定性分析

旋流气搅拌的气水比为 1.5:1, 实际运行中, 可从膜池管路分流部分气源作为气搅拌的气来源, 其运行能耗也大大小于搅拌器的功率。

目前 4 套 CWT-A-300 已连续运行 4 个月, 未发现曝气器有堵塞现象, 各曝气器出气均匀, 运行稳定。

4. 总结

本研究首次将旋流曝气器应用到生化池缺氧单元, 克服现有搅拌工艺, 故障率高、气搅拌不均匀和曝气量不可控制的困难, 同时通过对曝气器的结构优化, 实现了节能的优势。所取得的具体结论如下:

通过小试实验及对 4 套 CWT-A-300 进行旋流曝气改造实验得出, 在气水比为 1.5:1 时, 缺氧池内的污泥可以搅拌均匀, 溶解氧基本在 0.2 mg/L 以下, 产水水质也没有受到影响。旋流气搅拌的主要优势是可以在不停机、不排水的情况下实现安装和检修, 维护简便, 运行成本低, 使用寿命长, 适合 CWT 缺氧池搅拌使用。

本研究通过对旋流曝气器进行改进, 将曝气器内部的齿状剪切片更换为无齿导流板, 将上部导流罩上的齿磨掉, 减少水力及机械切割作用, 将其应用于缺氧池曝气中, 使其在提高搅拌效果的同时具有较低的氧转移效率, 从而达到缺氧池高效搅拌的目的。研究成果为后期大型工程项目的应用提供数据和应用支撑。

参考文献

- [1] 李明月, 宋刚福. 农村污水处理技术研究进展[J]. 绿色科技, 2024, 26(2): 134-140.
- [2] Gong, L.X., Jun, L., Yang, Q., et al. (2012) Biomass Characteristics and Simultaneous Nitrification-Denitrification under Long Sludge Retention Time in an Integrated Reactor Treating Rural Domestic Sewage. *Bioresource Technology*, **119**, 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.067>
- [3] 康华, 李红艳, 龙北生, 等. 改进型 A₂NSBR 工艺参数及其除磷脱氮特性[J]. 环境工程, 2023, 41(4): 123-130.
- [4] 王欣, 王玉鹏, 刘伟, 等. 不同搅拌方式对浮渣层影响高温厌氧发酵产气率的研究[J]. 黑龙江科学, 2014, 5(9): 6-8.
- [5] 王健. 污泥调理机械搅拌设备选型与设计研究[J]. 中国设备工程, 2021(12): 142-144.