

# 悬挂链脉动波式曝气系统及相关工艺的研究<sup>\*</sup>

王 涛 楼上游 李希文

(机械科学研究院环境保护技术与装备研究所,北京 100044)

**摘要** 曝气技术与设备一直是活性污泥处理工艺中的核心组成部分,但目前使用的曝气设备存在着诸多不足之处,影响了整个处理工艺的效果。悬挂链脉动波式曝气系统解决了长期困扰的问题。本文通过3个部分分析了该技术的设备特点、工艺特点和经济性。通过对悬挂链移动曝气技术与设备的研究,为今后我国兴建污水处理厂提供了一条低投资、高效能的途径,使我国在较短时间内提高污水处理率成为可能。

**关键词** 悬挂链 移动曝气 固定曝气 微孔曝气 延时曝气 多级 A/O

## 1 前言

曝气技术与设备一直是活性污泥处理工艺中的核心组成部分,就目前国内广泛使用的曝气技术与设备可分为机械曝气、鼓风曝气和射流曝气3种。射流曝气由于能耗高、效率低等弱点仅在特殊条件下使用;机械曝气在使用上设备可靠耐用、维护简单,但效率低、动力消耗大;鼓风曝气较机械曝气的充氧效率高、动力消耗低,但修理时需将构筑物中的水放空,维修困难;尤其是近些年广泛采用的效率最高的橡胶膜微孔曝气器,曝气膜片在污水的浸蚀下很容易损坏,而且在不曝气时,易附着生物造成堵塞。

悬挂链脉动波式曝气技术(以下简称悬挂链技术)解决了这些问题。设备的充氧效率和动力效率较普通微孔曝气设备有所提高,并且维修简便,可以在不停水、不停止供气的情况下,进行检修,更换损坏的曝气器,实用可靠。

## 2 悬挂链技术的设备特点

### 2.1 曝气方式

悬挂链曝气装置在曝气方式上与传统固定曝气设备有很大不同:它采用移动曝气方式,曝气器由浮筒牵引,悬挂在池中,每组浮筒/曝气器由飘浮在水面的布气管连接为一条“链”,曝气器与浮筒/布气管间用软管连接。在向曝气器通气时,单个曝气器由于受力不均,在水中产生运动,当曝气器偏离浮筒垂直轴时,气泡升到水面并在浮筒一侧爆裂,从而对浮筒产生反向推力,推动浮筒运动,浮筒的运动反过来带动曝气器运动,在曝气情况下运动持续不断,见图1。

这种运动从机理上弥补了传统固定曝气方式的

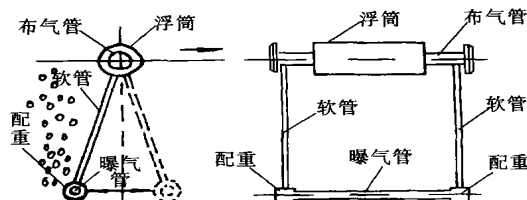


图1 悬挂链脉动波式曝气装置

两点先天不足:

(1) 固定式曝气器顶部至水面的水域始终处于过饱和和充氧状态,而其它水域则处于不饱和充氧状态,氧利用率较低;

(2) 固定曝气方式这种有规律的气泡在水中的运动,使整个构筑物产生若干个紊流区域,这些紊流区域反过来又促使气泡在水中的运动速度加快,停留时间减少。

悬挂链曝气器在水中的运动使池中不存在氧的过饱和区域和不饱和区域,使氧的利用率得以显著提高。

### 2.2 设备材质与性能

作为水处理厂中的一种设备,要求它可以长期稳定地工作,但橡胶作为一种高分子聚合物,老化是一个较普遍的现象。所以,在选择膜管所用的橡胶材料时,材料的耐老化性是要首先考虑的问题;此外,为了减少阻力,橡胶的硬度要小;因为橡胶管上打有小孔,橡胶的抗撕裂性也要好。三元已丙橡胶的耐老化性和耐酸碱性能十分优异,使用温度范围宽,同时其抗撕裂性和回弹性也较好,是最适合的微孔橡胶管的材料。

微孔橡胶膜的厚度应在保证一定强度的情况下尽量薄。国内厂家橡胶膜最薄的可以达到1.0mm。

<sup>\*</sup> 国家九五科技攻关课题(96-909-2-01),机械工业部人才科技基金

项目(97JF0005)

已丙橡胶的最低抗张强度为  $150 \text{ kg/cm}^2$ , 微孔橡胶管的内径为  $63 \text{ mm}$ , 可承受的最大空气压力为  $4.76 \text{ kg/cm}^2$ , 即  $466.8 \text{ kPa}$ , 可见其强度足够大。结果证明: 在进行了 25 000 次抗疲劳试验后, 氧利用率损失低于 5%, 见图 2。

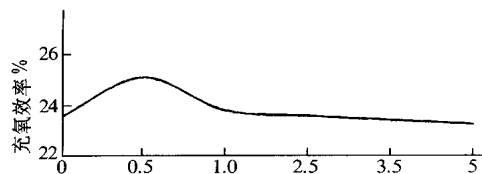


图2 设备抗疲劳试验结果

经与国内曝气器在相同条件下的清水性能实验比较, 悬挂链曝气器的氧利用率提高 30% 以上; 理论动力效率提高 20% 以上, 表 1。

表 1 各种曝气器相比的特点

项 目	悬挂链曝气器	普通微孔曝气器	曝气转刷/转碟
氧利用率 %	30	18 ~ 24	—
理论动力效率/ $\text{kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	7	4	3
处理构筑的形式	可用于土池防渗结构	混凝土结构	混凝土结构
维修方式	在不停气不停水的情况下, 直接将曝气器提出水面维修。	必须停气, 放空构筑物中的水后, 才能进行维修。	在停转设备后, 进行维修。

显而易见, 与其它曝气器相比, 悬挂链曝气器具有显著的节能和易于维修的特点。

### 3 悬挂链技术的工艺特点

#### 3.1 简洁紧凑的工艺流程

悬挂链装置可以代替传统曝气器, 用于传统工艺中的生化处理部分。此外, 它还可以与配套设备组成一套简洁紧凑的深度处理工艺流程。所谓“简洁”是说流程中的除磷区、曝气区、沉淀区、二曝区和稳定区可以合建成为一个综合处理构筑物; 所谓“紧凑”是说综合处理构筑物的各个功能区的形状尺寸可以根据地形地貌而建成不规则的多边形, 工艺流程见图 3。

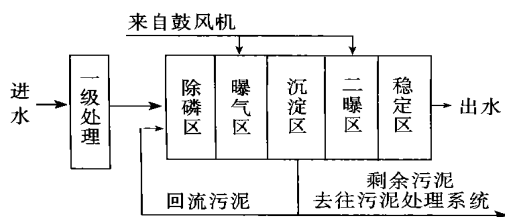


图3 悬挂链系统污水工艺流程图

#### 3.2 深度处理工艺理论研究

悬挂链工艺是与悬挂链系统配套的污水深度处

理工艺, 它是基于多级 A/O 理论基础之上的, 就是在同一构筑物中实现多个 A/O 段, 使污水能够经过多次的硝化与反硝化过程, 达到理想的脱 N 效果。

#### 3.2.1 生物吸收与生物稳定

悬挂链工艺采用低  $\text{BOD}_5$  污泥负荷, 一般情况下采用  $0.05 \sim 0.3 \text{ kg/kg} \cdot \text{d}$ , 在纬度较高地区采用  $0.02 \sim 0.1 \text{ kg/kg} \cdot \text{d}$ ; 停留时间为  $12 \sim 48 \text{ h}$  (流通池为  $6 \sim 20 \text{ d}$ )。低污泥负荷与长停留时间使得:

(1) 废水中的污染物被彻底吸收(分解), 因为相对于微生物数量, 污染物数量较低, 则净化效率较高; 对于一般处理工艺, 微生物仅分解污染物中最有营养的部分(即最易降解的部分), 则净化效率较低;

(2) 待去除的剩余污泥的数量很少, 所含有机物被很好地分解、矿化, 使得污泥稳定且没有臭味;

(3) 由于污泥龄长、污泥量大, 所有氨氮被有效去除, 因为足够的泥龄是形成硝化菌的基本条件, 硝化菌可氧化氨分子;

(4) 由于采用延时曝气, 系统调节能力强, 不需要复杂的管理, 实现自控比较容易。

#### 3.2.2 氮的去除

在目前运行的 A/O 工艺中采用缺氧(厌氧)与好氧两个相对独立的反应段, A/O 比一定。由于缺氧段和好氧段的反应器容积比(A/O 容积比)对硝化和反硝化效果影响很大, 水质水量变化的废水 A/O 容积比不同: 对于可生化性较好的废水, 悬浮生长系统的反硝化速率可以达到硝化速率的  $3 \sim 4$  倍, 此时 A/O 容积比较小, 对于可生化性较差的废水(如焦化废水), 所采用的 A/O 容积比应较大。因此水质发生较大波动时, 构筑物就不能达到 A/O 工艺应有的处理效果。悬挂链工艺解决了这个问题, 通过控制链端阀门的启闭, 可以自由调节构筑物 A 区和 O 区的容积比, 并可实现多级 A/O。

关于多级 A/O 实现的可能性。在一个曝气池中, 实现部分缺氧, 似乎不太容易。但从表 2 中可以看出, 缺氧(水解酸化)段为一典型的兼氧过程, 只要 Eh 控制在  $+50 \text{ mV}$  以下, DO 控制在  $0.5 \text{ mg/L}$  以下, pH 值控制在  $5.5 \sim 6.5$  之间, 该过程即可顺利进行, 甚至对温度都无特殊要求, 在常温下即可取得满意的效果, 而且几乎不产生易燃易爆气体——甲烷。

另一个是活性污泥的问题。由于硝化菌的自养特性, 其增长速率比异氧菌小一个数量级左右, 因此, 在整个系统中, 如何维持足够数量的硝化菌, 将成为

该工艺成败的关键。在稳态下,系统中硝化菌的增殖与硝化菌固有的比增长速率( $\mu$ )和所控制的细胞平均停留时间( $\theta$ )有关。反应处于稳态时

$$\mu = 1/\theta$$

如果  $\mu < 1/\theta$ , 系统中增殖的硝化菌小于流失的硝化菌, 在此情况下, 系统中硝化菌的数量将越来越少, 直至完全消失。也就是说, 系统中的硝化处于非稳态, 硝化能力越来越差, 直至完全丧失。所以, 必须保证  $\mu \geq 1/\theta$ , 才能使 A/O 工艺顺利实现。

表 2 缺氧(水解酸化)与厌氧的比较

项目	水解酸化 - 好氧中的水解酸化段	两相厌氧中的产酸相	厌氧硝化
Eh/mV	< +50	- 100 ~ - 300	< - 300
pH	5.5 ~ 6.5	6.0 ~ 6.5	6.8 ~ 7.2
温度	不控制	控制	控制
优势微生物	兼性菌	兼性菌 + 厌氧菌	厌氧菌
产气中甲烷含量	极少	少量	大量
最终产物	水溶性基质(各种有机酸、醇)、CO <sub>2</sub>	乙酸、少量低碳酸、CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub>

悬挂链工艺要求的水力停留时间较长, 污泥龄达到 15 d 以上, 所以细菌的平均停留时间相应较长; 适宜条件下, 硝化菌的最小世代时间为 3 d 左右, 所以该系统能完全满足  $\mu \geq 1/\theta$ 。

在一般情况下, 悬挂链波浪曝气技术在构筑物中实现多级 A/O 工艺, 也就是 A/O/A/O/A/O ..... 工艺。在运行中, 连续开启关闭曝气链端的阀门, 人为造成停气 - 曝气 - ..... 停气 - 曝气区域, 构筑物中也就形成连续的缺氧 - 好氧 - ..... 缺氧 - 好氧段, 这样, 污水在经过构筑物时, 连续经过缺氧 - 好氧 - ..... 缺氧 - 好氧区域。每经过 1 组停气 - 曝气区域, 也就经历了 1 个 A/O 工艺周期, 完成了 1 次 A/O 工艺处理, 处理效率是依次累加的。对污染物的处理效率为:

$$E_{\text{总}} = 1 - (1 - E)^n$$

$E_{\text{总}}$  —— 污染物总处理效率;

$E$  —— 每个 A/O 周期污染物处理效率;

$n$  —— A/O 工艺周期的个数。

### 3.2.3 磷的去除

在正常情况下, 污水中的 P 按照 1 : 100 的比例与 BOD<sub>5</sub> 一同被去除掉。在 P 含量的较高的情况下, 采用悬挂链技术的曝气池前端, 利用浮动隔墙隔出除 P

区, 区域大小根据实际情况而定, 除 P 区内氧含量很低, 相当于 A<sup>2</sup>/O 工艺中的 Anaerobic 段, 除 P 原理也与之相似。

### 3.2.4 污泥的处置

根据负荷状况, 活性污泥将在系统中停留 15 d 以上。在这个周期内, 活性污泥反复循环处理过程, 加上污水的均匀化处理, 保证剩余污泥性能的稳定。悬挂链波浪曝气工艺所产生的剩余污泥无需任何附加处理设备, 可自然干燥, 经过生物测试后, 可直接农用。

## 4 悬挂链技术的经济性

### 4.1 节约工程投资

悬挂链技术中核心构筑物可以采用合建的土池结构, 还可以利用现有坑塘和自然水系。由于悬挂链系统布气采用软管, 而且紧固件均在水面以上, 除磷区、曝气区、沉淀区、二次曝气区、稳定区均可自由合建, 池形可以根据实际情况设计成不规则形状。占地面积和土建费用的大大节省, 可使投资降低, 建设周期缩短。

### 4.2 节省运行费用

相对于其它的活性污泥工艺, 悬挂链移动曝气系统具有节能降耗显著的特点。传统工艺在好氧段停留时间 8 h 的前提下, 气水比在 10 : 1 左右, 而悬挂链系统在好氧段停留时间 12 h 的前提下, 气水比能达到 6 : 1, 甚至更低。

## 5 结论

悬挂链技术对生活污水和工业废水都是有效的。在中小城市利用现有坑塘或排污河渠进行污水净化处理, 可节省大量的资金和土地。在已建成的大中型污水处理厂也可利用悬挂链移动曝气技术直接改造, 以达到更好的运行使用效果, 延长服务年限。悬挂链技术大大降低工程投资、运行费用, 扩大了生物技术在水处理领域的应用范围。

### 参考文献

- 1 W. Wesley Eckenfelder, Industrial Water Pollution Control, second edition, 1989, Jr. McGraw-Hill Book Company, New York : 110 ~ 135, 189 ~ 210.
- 2 Assessment of the Biolac Technology, Environmental Protection Agency, Washington, DC, U. S. Department of Commerce NTIS, 1990.

第一作者 王涛, 男, 1974 年出生, 机械科学研究院环保技术与装备研究所工程师, 主要从事水处理工艺方面的研究以及工程设计等方面工作, 发表论文 10 篇。

## STUDY ON THE DISPOSAL TECHNOLOGY OF PIGGERY WASTEWATER .....

..... *Yang Chaohui et al* (19)

**Abstract** A large amount of wastewater from piggery farm is mostly discharged directly without appropriate recycle and treatment ,which can bring about a serious pollution to the environment. This paper introduce a disposal technology of piggery wastewater ,that is sedimentation-UASB-SBR process. The results of the test prove that after treatment by the process ,the indexes of  $\text{NH}_3\text{-N}$  , $\text{BOD}_5$  , $\text{COD}_\text{Cr}$  in piggery wastewater are up to the discharge standards.

**Keywords** piggery wastewater , $\text{NH}_3\text{-N}$  , $\text{COD}_\text{Cr}$  ,UASB and SBR

## STUDY ON SUSPENDED CHAIN AERATING SYSTEM AND RELEVANT TECHNOLOGY .....

..... *Wang Tao et al* (22)

**Abstract** Aeration technology and equipment are always the core part of activated sludge process. But now aeration equipment exists many deficiencies ,which produce great impact on effect. A suspended chain aerating system solves the problems that puzzle us for a long time. This paper analyzes equipment characteristic ,technology characteristic ,economic results of the suspended chain aerating system. Through a long-term researches ,a way to build low investment and high efficiency sewage plant in our country is provided ,which makes it possible to increase sewage treatment efficiency in a short time.

**Keywords** suspended chain ,moving aeration ,fixing aeration ,micropore aeration ,delayed aeration and multistage A/O

## DESIGN OF A DROP AERATION-MODIFIED FILLER ( FILTERING MEDIUM) DRAINAGE SYSTEM FOR TREATING SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER .....

..... *Jiang Xiangshan* (25)

**Abstract** The original drainage system for a slaughterhouse is modified and renovated ,which has become a new type drainage system for sedimentating ,oxidating by a process of anaerobic-aerobic biocontact and filtering the slaughterhouse wastewater ,whose discharge is up to the standards.

**Keywords** drop aeration ,modified drainage system ,treatment and slaughterhouse wastewater

## STUDY ON SEMI-DRY SUSPENSION FGD OF DICYCLIC FLUIDIZED BED AND ITS ENGINEERING PRACTICE .....

..... *Ma Chunyuan et al* (27)

**Abstract** A device of semi-dry suspension FGD of dicycllic fluidized bed is proposed ,whose small sized pilot test and industrial demonstration have been finished. It is indicated by the engineering practice that the desulphuration efficiency of the process is 92 % and can fitted favorable with an electrostatic precipitator.

**Keywords** desulphuration ,two-circulation ,fluidized be and semi-dry process

## DYNAMIC FILTRATION OF FIBROUS FILTER .....

..... *Xiang Xiaodong et al* (31)

**Abstract** The basic filtration theory of the fibrous filter is firstly introduced in order to discuss the dynamic filtration of the fibrous filter. In the light of the phenomenon of the dust layer filtration ,a new dynamic filtration efficiency model of the dust layer on filter surface is developed by the granular bed filtration theory. The comparison investigation has shown that this new model can reveal the pattern of the dynamic filtration processes deeply.

**Keywords** fibrous filter ,surface filtration ,dynamic filtration ,granula and dedusting efficiency

## INFLUENCES OF OPERATING PARAMETERS ON THE PERFORMANCE OF SEMI-DRY PROCESS FLUE GAS DESULFURIZATION .....

..... *Wei Enzong et al* (35)

**Abstract** Fuyang lime is selected to be the desulfurization agent for experiment research. The influences of operating parameters on desulfurization efficiency are investigated ,and their mechanisms are analyzed. The result proves that the adiabatic saturation temperature at the desulphuration tower outlet has the most evident influence on the desulphuration efficiency of the system ,and the ratio of calcium to sulfur comes