

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.04.017

势能增氧生态净化工艺在高浓度有机废水处理中的应用

陈鸣钊^{1,2}, 商卫纯³, 冯 骞^{1,2}, 肖玉冰^{1,2}

(1. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 3. 浙江省环境保护科学设计研究院, 浙江 杭州 310007)

摘要:比较污水处理好氧工艺生物转盘法和滴滤池法的优缺点,并结合两种废水处理方法的优点,设计新的工艺——势能增氧生态净化工艺,对南京市腊梅食品厂高浓度有机废水进行处理。结果表明,势能增氧生态净化工艺设计简单,不需鼓风机曝气,污水进入废水处理系统后出水即达到所要求的水质标准,且全部自控管理,具有废水处理效果佳、运行费用低的特点。

关键词:势能增氧生态净化工艺;有机废水;废水处理

中图分类号:X703 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2015)04-0094-04

Application of potential energy increasing oxygen ecological purification technology in treatment of high concentration organic wastewater

CHEN Mingzhao^{1,2}, SHANG Weichun³, FENG Qian^{1,2}, XIAO Yubing^{1,2}

(1. Key Laboratory for Integrated Regulation and Resources Exploitation on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Environmental Science Research & Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: Comparing the advantages and shortcomings of two wastewater treatment methods, aerobic process biological rotary method and trickling filter method, a new process, potential energy increasing oxygen ecological purification technology (PIEP), was designed by combining the advantages of the two wastewater treatment methods. PIEP was applied in the treatment of high concentration organic wastewater in Nanjing Lamei Food Factory. The results show that PIEP is simple in design and doesn't need blast aeration. The effluent of wastewater flowing into the wastewater treatment system meet the required water quality standards, and the whole process is under automatic control management. PIEP has characteristics that the wastewater treatment effect is good and the operation expenses are lower.

Key words: potential energy increasing oxygen ecological purification technology; organic wastewater; wastewater treatment

应用当今的各种成熟的工艺进行高浓度有机废水处理,运行费用常常较高。探索一种成本低廉、处理效果良好的高浓度有机废水处理工艺,是研究者们孜孜以求的梦想。

1 高浓度有机废水处理常用工艺简介

当前高浓度有机废水处理的各種方法中,其工

艺大致可归纳为 3 个环节:预处理、厌氧工艺、好氧工艺。

a. 预处理。该环节中,以采用高效絮凝剂为多数,其他应用电解等方法。这些方法都需耗电或投药。

b. 厌氧工艺。厌氧工艺的特点是不耗能,不增加运行费用,是处理高浓度有机废水的重要环节。

作者简介: 陈鸣钊(1937—),男,教授,主要从事环境科学与污水处理工程研究。E-mail:ch_mz@sina.com

提高厌氧工艺的处理效率,降低成本是该工艺环节的研究方向。在处理高浓度有机废水方面,废水浓度越高,厌氧工艺的优越性越明显,污染物去除率可达95%以上。但是厌氧工艺有一个不可逾越的障碍,即无论再好的厌氧工艺,在降低污水浓度方面有一个下限值,出水中 COD_{Cr} 的质量浓度几乎不可能降到130 mg/L以下。这是厌氧细菌的生长、生理的限制。如果要求出水中 COD_{Cr} 质量浓度到100 mg/L以下,则必须要配有好氧工艺环节。

c. 好氧工艺。现行的处理工艺中,活性污泥法、氧化沟法、SBR法、A/B法、生物接触氧化法等都是成熟的好氧工艺,它们对生活污水处理效果达到 $\rho(COD_{Cr}) \leq 100$ mg/L时的运行费用在0.8~1.4元/t之间^[1]。若再加上预处理运行费用,则高浓度有机废水处理的直接运行成本可高达2元/t以上,这对于用户来讲是一项沉重的负担。好氧工艺需要耗能,运行费用除药剂费之外,还有电能消耗费用及管理人员的工资。以较为流行的SBR法和生物接触氧化法为例,它们都需要鼓风曝气,其气水比若采用15:1~20:1,则每100 m³污水需空气曝气量为1.0~2.0 m³/min,还要计算罗茨风机的功率消耗(大约为0.4 kW/t)。除了工艺部分的消耗之外,还有人工管理费用。根据城乡建设部(85)城劳字第5号文“关于《城市建设各行业编制定员实行标准》的通知”要求:“日处理5万t以下的二级污水处理厂,每万t配备22人”。参考这一标准,一般情况,一个大的高浓度污水处理厂至少需12人,车间主任(兼技术员)1人,分析化验员(兼核算员)1人,操作人员(采用5班三运转制)每班2人,则人员工资至少为0.4元/t。

2 免去鼓风曝气的好氧方法

当今所有污水处理好氧工艺中,除生物转盘和滴滤池外,都需进行鼓风曝气以供应好氧微生物呼吸和生存。生物转盘法属于膜法的类型,有生物转盘、滴滤池、生物滤塔(池)、生物接触氧化、生物流化床等工艺,其中只有生物转盘和滴滤池法不需鼓风曝气。

2.1 生物转盘复氧

若在生物转盘盘片上取一单位面积,作上彩色标志并跟踪观测,则可以看到,该单位面积在不断地做出露水面、淹没水下的周而复始运动。

当单位面积盘片淹没水中时,其盘片(填料)上所附生物膜中的好氧微生物则分解污水,获取食物,得以生长繁殖,同时使污水得到净化^[2-6]。衡量生物膜处理污水能力的一项指标是每立方米生物转盘的

盘片(填料)面积(称之为单位比表面积)。盘片面积越大,则净化污水的能力越大。最大的生物转盘比表面积为157 m²/m³(按生物转盘直径为3m,两盘之间间隙为10 mm计),比表面积不大是生物转盘法的缺点。

在单位面积盘片出露水面期间,附在盘片上的水膜与大气进行氧分子交换,称之为大气复氧效应。按照大气复氧双膜理论^[2],一个流动的水体从大气中吸收氧气的过程称为“复氧过程”,也称“再曝气过程”。氧的传输率计算公式为

$$\frac{dO}{dt} = K_L \frac{A}{V} (O_s - O) \quad (1)$$

式中: O_s , O 分别为水中溶解氧的饱和浓度和实际浓度; A , V 分别为填料表面的总表面积及填料的总体积; K_L 为氧的质量传输系数。

由式(1)可知,氧的传输率 dO/dt 除与 $(O_s - O)$ 成正比外,尚与水体比表面积 A/V 成正比。

在单位面积盘片出露水面期间,附在盘片(填料)上的水膜与大气之间进行氧分子交换,填料的比表面积越大,大气复氧率 dO/dt 也越大,这是一个应用大气复氧取代鼓风曝气的重要参数。

可以得出结论:不采用鼓风曝气的环节,只要能让盘片(填料)周期性出露水面和淹没水中,即可利用大气复氧使填料上的水膜得到较高的溶解氧含量,同时也能分解污水中污染物。

2.2 滴滤池复氧

滴滤池也是一种不需要鼓风曝气的好氧工艺。由于滴滤池结构为粗颗粒填料,孔隙较大且池深较浅,当污水从布水器排出,依靠势能自上而下流动时,其填料表面亦形成一个流动的水体,在表层形成大气复氧,因此污水处理过程中不再耗能。笔者把它称为势能增氧生态净化工艺的雏形。

当废水进入滴滤池一定深度之后,水中的溶解氧被有机物和好氧微生物不断消耗,进入缺氧状态,因此滴滤池池深不宜太深。

滴滤池中填料的表面附着有生物膜,当污水自上而下通过时,填料上的微生物分解污水,获取食物,得以生长和繁殖,同时使污水得到净化。填料的比表面积愈大,微生物量越多,对污染物的去除效果也越好。滴滤池中填料比表面积可达300~1 000 m²/m³。为提高比表面积,可减小填料的粒径或增加滤池的池深,这就是生物滤池(塔)。生物滤池(塔)比表面积可达2 000 m²/m³。形成生物滤塔(池)后,当污水自上而下流动时,水中的溶解氧被有机物和好氧细菌不断地消耗,在生物滤塔(池)底

部形成缺氧状态。为保障滤池(塔)中的好氧环境,在滤池(塔)底部进行鼓风曝气。这种方式自下部供氧,在运行过程中易出现上部、下部好氧微生物生长、繁殖情况好,而中部好氧微生物生长、繁殖较差的情况。尽管采用这种方法得到了较好的污水去除效果,但滴滤池自然复氧、能耗低的优点也不复存在。

在填料上再进行改进,形成生物接触氧化法、生物流化床法、曝气生物滤池等方法。但这样就把滴滤池法能耗小、不需鼓风曝气的优点去掉了,从节能角度看,有些可惜。

3 势能增氧生态净化工艺介绍

3.1 势能增氧生态净化工艺的设计

从对生物转盘复氧和滴滤池复氧工艺优缺点的分析和总结,笔者设计一种势能增氧生态净化工艺 (potential energy increasing oxygen ecological purification technology, PIEP), 其核心工艺环节是“势能增氧生态床”。

3.1.1 PIEP 流程

PIEP 流程是:生产车间污水收集沟—栅网过滤器—隔油池—分相厌氧池—增氧机和生态床—二沉池—溢流堰—出水。

3.1.2 工艺流程各环节的功能和设计

栅网过滤器可以除去大于 0.5 mm 的悬浮颗粒;四隔室隔油池可以除去污水中的油污;四隔室分相厌氧池可以充分发挥厌氧的处理效率,将 COD_{Cr} 质量浓度降至 200 mg/L 左右,大大减轻好氧工艺的负荷;主要环节增氧机和生态床、二沉池是一个相互配合不可分割的整体;在溢流堰测量出水流量。

3.2 PIEP 的实质

PIEP 的实质是强化生物转盘和滴滤池的优点:强化生物转盘的盘片(填料)周期性出露水面和淹没水中的过程;强化滴滤池依靠势能的优点^[7-9]。

a. 强化生物转盘的盘片(填料)周期性出露水面和淹没水中的过程。PIEP 生态床的结构为钢筋混凝土、砖混结构、内外防水粉。生态床内部为多层浅层的箱体结构,箱体中装满填料(如卵石、黄沙),每一层按填料颗粒大小级配分层铺砌,颗粒大的在下层,颗粒小的在上层。分层铺砌是为了不让填料堵塞,粗细颗粒填料级配是为了增加比表面积(至少可达最大的生物转盘比表面积为 $157\text{ m}^2/\text{m}^3$ 的 3 倍以上),强化了生物转盘的盘片。每一层层高为 30 cm,净长 2.9 m,净宽 1.2 m,一共设计 12 层。总体积 14.6 m^3 ,可装填料 7.0 m^3 。生态床下面的二沉

池深 90 cm,净长 4.7 m,净宽 1.2 m。PIEP 增氧机加设在生态床两头,目的是很快吸干生态床中的水,并增加出水中的溶解氧含量。

b. 强化滴滤池依靠势能的优点。采用自制的 PVC 板,PIEP 增氧机加设在生态床两头。生态床箱体每层有 1 套 2 个增氧机,每个长 0.65 m,宽 0.35 m,高 0.30 m,计 12 层,12 套,24 个。该增氧机是利用水力学负压原理,产生虹吸和 7 m 负压,从而将 30 cm 水头的势能变为 7.3 m 水头的势能,强化了滴滤池所依靠的势能从而节能(图 1)。

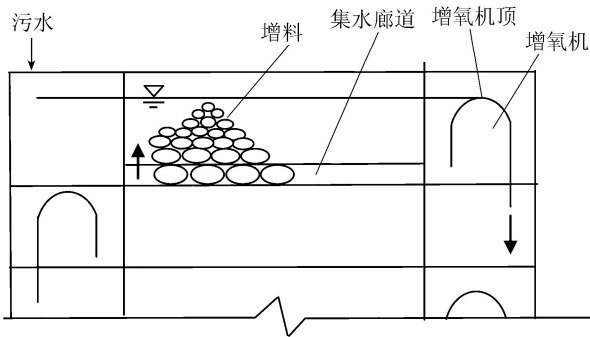


图 1 势能增氧生态床剖面

3.3 PIEP 的工作原理

当污水自第一层进入增氧机 1 时(图 1),由于集水廊道的存在,且箱体中的填料是大颗粒在下、小颗粒在上,污水自下而上运动,其中携带的悬浮物质自下而上被截留。当水位上升到增氧机中的虹吸管顶部 4 并超过后,由于虹吸管作用的产生,污水以较大的流速自虹吸管向下一层排出,箱体中的水很快(一般设计不超过 2 min)被吸干,空气进入,进行大气复氧。当每一层的污水被吸干后,虹吸就自动断开。由于污水不断进入(或上一层的污水向下一层排入),水位再次上升,再次虹吸,周而复始。每一层箱体中填料上的水膜和生物膜则获得了不断暴露于大气、淹没于水中的周期性,进行周而复始的运动^[10-15]。

4 PIEP 的工程应用及其效果

南京腊梅食品厂系生产“三鸿牌”肉松的工厂,污水排放量为 $100 \sim 120\text{ m}^3/\text{d}$,污水中 COD_{Cr} 的质量浓度高达 3000 mg/L ,SS 的质量浓度 $450 \sim 850\text{ mg/L}$,植物油类的质量浓度为 300 mg/L 左右。应用 PIEP 进行处理后,南京腊梅食品厂各项指标的质量浓度均值已达国家允许排放一级标准:出水中 $\rho(COD) = 100\text{ mg/L}$,且十分稳定。该套污水处理工艺简单,操作方便,能做到均性处理,不曝气,无噪音,不扰民,无易损件,坚固耐用,不投药(不设专人管理),运行

费用为 0.24 元/m³, 每年节约开支约 4 万元, 且在运行 2 年后, 进行大修保养时可看到其中的填料除第 1 层由于管理不善而部分发黑外, 第 2 层以后直至底层的卵石、黄沙十分清洁, 与新放填料无区别, 无阻塞现象, 厌氧池的污泥量小于或等于 10 m³。

5 结 语

PIEP 在南京腊梅食品厂的应用表明, 该工艺无须罗茨风机鼓风曝气, 水质可达到国家允许排放一级标准, 且管理全部自动化, 仅需 1 人已足够, 大大减少管理人员, 使运行费用降为 0.24 元/m³, 远高于文献[1]提出的标准, 因此, PIEP 是一种应用前景良好的污水处理方法。

参考文献:

[1] 文一波. 发展适合中国国情的城市污水处理技术[J]. 环境保护, 1999 (5): 26. (WEN Yibo. To develop technology of urban sewage treatment fitting Chinese national conditions [J]. Environmental Protection, 1999 (5): 26. (in Chinese))

[2] 傅国伟, 程声通. 水污染控制系统规划[M]. 北京: 清华大学出版社, 1985.

[3] 陈鸣钊. 浮动生物滤清器研究[J]. 河海大学学报, 1993, 21 (4): 106-111. (CHEN Mingzhao. A study of applications passive rotating biological filter[J]. Journal of Hohai University, 1993, 21 (4): 106-111. (in Chinese))

[4] 陈鸣钊, 王沛芳, 许京怀. 应用浮动生物滤清器除藻研究[J]. 上海环境科学, 2000, 19 (8): 385-387. (CHEN Mingzhao, WANG Peifang, XU jinghuai. Study on removing algae by applying floating bio-filter equipment [J]. Shanghai Environmental Sciences, 2000, 19 (8): 385-387. (in Chinese))

[5] 陈鸣钊, 丁训静, 许京怀. 用生态环境再改变论研究湖泊富营养化治理方法[J]. 水科学进展, 2003, 14 (3): 323-327. (CHEN Mingzhao, DING Xunjing, XU jinghuai. Research on harnessing eutrophication in lakes with ecological environment rechanging theory [J]. Advances in Water Science, 2003, 14 (3): 323-327. (in Chinese))

[6] 陈鸣钊. 改变生态条件除藻方法研究[J]. 河海大学学报, 1995, 23 (4): 50-52. (CHEN Mingzhao. Research of removing algae by changing the ecological conditions [J]. Journal of Hohai University, 1995, 23 (4): 50-52. (in Chinese))

[7] 陈鸣钊, 丁训静. 水体势能的大气复氧方法: 势能增氧生态床法[J]. 水科学进展, 2008, 19 (5): 742-745. (CHEN Mingzhao, DING Xunjing. Potential energy ecological bed method for air aeration using water potential energy [J]. Advances in Water Science, 2008, 19 (5): 742-745. (in Chinese))

742-745. (in Chinese))

[8] 邓凤, 陈鸣钊. 势能增氧生态处理工艺的应用研究[J]. 环境工程, 2009, 27 (1): 23-25. (DENG Feng, CHEN Mingzhao. Study on oxygen increased biological treatment process through potential energy [J]. Environmental Engineering, 2009, 27 (1): 23-25. (in Chinese))

[9] 陈鸣钊, 丁训静. 势能大气复氧理论与实践[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

[10] 陈鸣钊, 丁训静, 王沛芳. 降低处理高浓度有机废水运行费用方法的研究[C]//2004 第四届中国水污染防治与废水资源化技术交流会论文集. 北京: 中国环境科学学会环境工程分会, 2004: 240.

[11] 陈鸣钊, 丁训静, 王沛芳. 农村微污染的河(湖、塘)水处理为自来水的研究[C]//2005 年第五届中国水污染防治与废水资源化技术交流会论文集. 北京: 中国环境科学学会环境工程分会, 2005: 76.

[12] 陈鸣钊, 丁训静, 许京怀. 城市公园内湖富营养化原位生态修复法[C]//2005 第五届城市与环境研讨会论文集. 北京: 中国环境科学学会环境工程分会, 2005: 15.

[13] 陈鸣钊, 丁训静. 城市河流原位生态修复运行费用≤0.15 元/m³[C]//2005 年第五届城市与环境研讨会论文集. 北京: 中国环境科学学会环境工程分会, 2005: 228.

[14] 陈鸣钊, 丁训静. 受污染的河、湖增氧生态治理与水质改善技术[C]//2009 年全国水环境污染控制生态修复技术与生态补偿建设经验交流研讨会论文集. 北京: 建设部建设环境工程技术中心, 2009: 135.

[15] 陈鸣钊. 一个节能减排的污水处理方法[C]//2012 年水环境污染控制与生态修复技术研讨会论文集. 北京: 中国能源环境科技协会, 2012: 41.

(收稿日期: 2014 - 06 - 20 编辑: 彭桃英)

