

新型一体化工艺处理生活污水的 脱氮除磷研究

李德豪^{1,2}, 侯琳^{2,3}, 周如金², 刘勇弟¹, 陈敏东³

(1. 华东理工大学, 上海 210237; 2. 茂名学院, 广东 茂名 525000;

3. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210009)

摘要:对新型一体化 OCD 生物反应器处理生活污水的脱氮除磷进行了试验研究。在污泥龄为 15 天, 进水流量为 20 L/h, 水力停留时间为 12 h 的条件下, 通过连续 3 个月的监测数据表明: 化学需氧量(COD)、总氮(TN)和总磷(TP)的去除率分别在 95%、80% 和 90% 以上。对中心岛多斗式沉淀池进行观察研究, 表明沉淀池具有较好的分离作用, 出水悬浮性固体(SS)的质量浓度基本维持在 15~20 mg/L。同时对系统内活性污泥进行连续监测, 发现本装置系统中生物种类数量丰富, 微生物优势种群及其数量随环境变化而波动, 呈现一定的规律性。

关键词:脱氮除磷; 厌氧-OCD 一体化工艺; 生活污水; 活性污泥

中图分类号: TU992.3; U664.92

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2008)10-0071-04

Research on nitrogen and phosphorus removal from domestic sewage by novel integral anaerobic-OCD process

LI De-hao^{1,2}, HOU Lin^{2,3}, ZHOU Ru-jin², LIU Yong-di¹, CHEN Min-dong³

(1. East China University of Science & Technology, Shanghai 210237, China; 2. Maoming University,

Maoming 525000, China; 3. Nanjing University of Information Engineering, Nanjing 210009, China)

Abstract: The nitrogen and phosphorus removal from domestic sewage by the integral anaerobic-OCD process has been studied. The experimental results show that when sludge age is 15 days, long influent current is 20 L/h and HRT is 20 hours, the removal efficiencies of COD, TN and TP are 95%, 80% and 90% respectively. Meanwhile the central island subulate sedimentation tank has been observed, which confirms that it has good separation functions, and SS mass concentration of water leakage maintains basically at 15-20 mg/L. moreover, the quantity of biological species in this system is rich, which is benefit to enhancing the processing effect of installment. The dominant macrobiotic population and number vary with the environment and changes in a certain rule.

Key words: nitrogen and phosphorus removal; integral anaerobic-OCD process; domestic sewage; activated sludge

近年来, 一体化污水处理工艺由于其占地面积小、能耗低、结构简单等特点得到迅速发展, 它利用合理的时空安排, 把曝气、沉淀等工艺合为一体, 完成工艺的连续工作。现国内外正在研究和应用的一体化工艺有: 由缺氧、好氧和沉淀组成的 A/O 一体化工艺^[1-3], 具有除磷功能和沉淀功能的一体化氧化沟^[4-5], 将膜组件置于生物反应器内的一体化膜装置^[6], 通过调整时间顺序来完成整个污水处理过程的 SBR 工艺^[7-9] 以及由膜组件与 SBR 相结合的 MSBR 等。厌氧一体化生物反应器是在一体化 OCO 工艺^[10-11] 的基础上改进更新的一种新型工艺, 因其形似英文 O. C. D, 故又叫新型 OCD 生物反应器。作为一种新型生物处理装置, 其既借鉴了氧化沟及 OCO^[12] 在反应器内自循环实现除磷脱氮的优点, 同

时通过以中心岛形式呈现的二沉池来实现污泥的自回流; 为了达到除磷的目的, 在缺氧区出口和混合区的交界区设置厌氧区, 依实际需要作为厌氧生物选择区或厌氧生化反应区, 同时采用气升式曝气把好氧区划分为好氧曝气区和好氧过流区, 既避免了曝气对沉淀池的扰动, 又克服了曝气对流体流动的阻碍作用。

该工艺的特点是: 可在一个系统内同时实现硝化-反硝化, 还因厌氧段的存在使工艺具有生物除磷的效能, 内部各功能区相连, 使好氧-缺氧-厌氧过程在同一反应器内得以实现。系统可实现污泥自动回流而无需另外构建二沉池, 可以节省项目占地面积和减少基建费用, 省去污泥回流泵, 减少设备购置、运行和维护费, 使工艺简化, 成本极大降低。

收稿日期: 2008-06-04

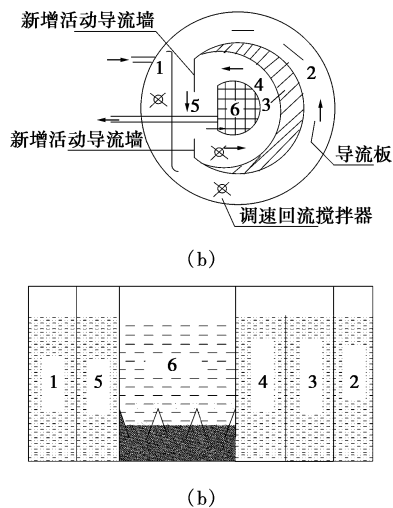
基金项目: 科技计划资助项目(2002C32106); 广东省教育厅自然科学基金项目(2001-0167)

作者简介: 李德豪(1964-), 男, 博士生, 教授, 主要从事废水生物处理研究, 0668-2923216, dehlee@163.com。

1 试验装置与方法

1.1 试验流程与装置

OCD 工艺主反应器的平面示意图及纵剖面图见图 1。



1—厌氧区;2—缺氧区;3—好氧曝气区 A;4—好氧区 B;
5—混合区;6—沉淀区

图 1 一体化 OCD 装置图

该装置用有机玻璃板加工制成,总有效容积为 240 L,有效水高度为 48 cm。原水经蠕动泵进入厌氧区,通过搅拌器使回流污水与原水充分混合后进入缺氧区,并在反应器中形成环流循环;混合液从好氧区流至沉淀池进行泥、水分离,污泥自回流至好氧区。好氧区分隔为曝气区(好氧 A 区)和过流区(好氧 B 区),采用气升式曝气进行充氧,既避免了曝气对沉淀池的扰动影响,又减少了曝气对流体流动的阻力。装置中心为多斗式沉淀池,出水由沉淀池上部的溢流堰排出。

1.2 试验方法

间歇式加入营养液进行污泥培养驯化,在 OCD 反应器内,混合液在搅拌器的驱动下不断地做圆周运动,并在好氧区内以气升式曝气进行连续曝气。经过 3~4 d 的培养,活性污泥大量繁殖,进入二沉池的活性污泥出现明显下沉现象,上层的水质开始变清。此后以合成污水连续进料进行进一步的培养驯化,并将污水流量逐渐增加到设计流量(20 L/h)。此过程中,需密切注意进水及反应池各区域的 pH 和溶解氧量(DO),控制适当的泥龄(泥龄约为 15 d)并及时做出适当的调节,以保证良好的细菌生长环境。工艺启动一周后,污泥沉降性能良好,沉降速度快,生物相镜检表明,悬浮污泥中可看出大量菌胶团,并有相当数量的固着型纤毛虫及轮虫等原生动

物,表明活性污泥已驯化成熟。

1.3 试验水质与测试方法

该试验采用人工配制生活污水,由葡萄糖、淀粉、蔗糖、碳酸铵、碳酸钠、磷酸二氢钾、硫酸镁、硫酸亚铁等配制而成,主要的反应装置运行控制参数见表 1。

表 1 新型 OCD 装置运行控制参数

反应区	厌氧区	缺氧区	好氧区
有效体积/L	40	100	100
pH	6.8~8.5	6.8~8.5	6.8~8.5
DO 质量浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.0~0.1	0.2~0.5	1.5~2.5
水力停留时间/h	12		
污水流量/ $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$	20		
污泥龄/d	15		
混合液悬浮固体物(MLSS) 质量浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2000~4000		

1.4 主要分析项目

COD_{Cr} 采用 HACH 化学需氧量测定仪,BOD 采用德国 WTW BOD 测定仪,氨氮采用氨气敏电极法,硝酸盐氮采用硝酸根电极法,总氮采用过硫酸钾氧化-硝酸根电极法,水温由温度计测定,pH 通过笔式 pH 计及玻璃电极法测定,DO 用 HACH LD10 便携式溶解氧测定仪测定。

2 试验结果与分析

2.1 COD 去除

在 OCD 工艺平稳运行后,经长时间的运行,其对 COD 的去除效果如图 2 所示。

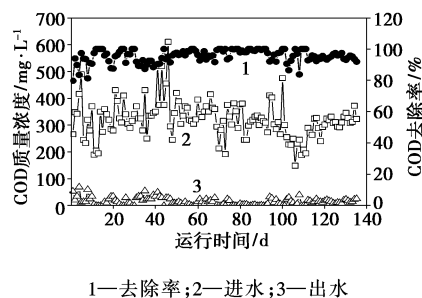


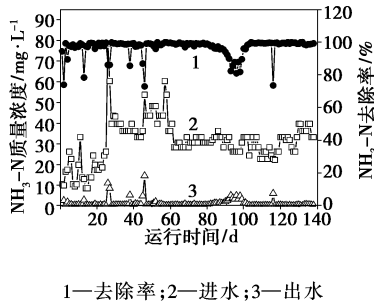
图 2 COD 进水、出水及去除效果图

由图 2 可知,当 COD 的质量浓度在 200~500 mg/L 变化时,COD 的平均去除率均在 90% 以上,出水 COD 的平均值为 26 mg/L ,已远低于污水综合排放标准(GB 18918—2002)规定的一级标准(B) 60 mg/L 。此外,图 2 还表明,尽管原水的 COD 变动很大,但出水 COD 平稳,能保持较高的 COD 去除率,可见 OCD 反应器的耐负荷冲击能力相当强。同时

可以看到 COD 去除率最高的区域主要集中于进水 COD 的质量浓度为 200 ~ 400 mg/L, 去除率均在 95% 以上, 说明 OCD 工艺能满足一般城市生活污水处理对 COD 排放的要求, 具有较好的应用前景。

2.2 氮的去除

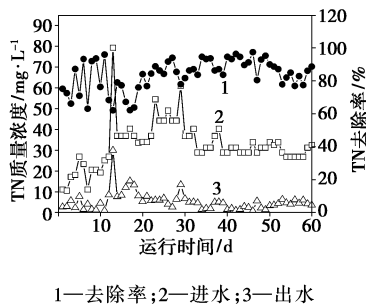
为了了解系统对氮的去除情况, 对 OCD 反应器的原(进)水、出水氨氮与总氮分别进行监测(如图 3)。



1—去除率;2—进水;3—出水

图 3 系统 $\text{NH}_3\text{-N}$ 进水、出水及去除效果图

从图 3 可知, 尽管原水氨氮浓度变化范围较大, 出水的氨氮质量浓度始终小于 1 mg/L, 说明该工艺的硝化效果是相当理想的, 这一指标较之污水综合排放标准(GB 18918—2002)规定的一级标准(B) 15 mg/L 要低得多, 平均去除率大于 95%。由图 3 还可以看到系统在 90 天左右去除率出现明显下降的情况, 其原因是此时期系统溶解氧偏低, 好氧区的 DO 质量浓度仅为 0.8 ~ 1.0 mg/L, 故出水水质不佳, 但通过加大曝气并经过一段时间的调整, 氨氮处理效果会迅速恢复到正常状态。



1—去除率;2—进水;3—出水

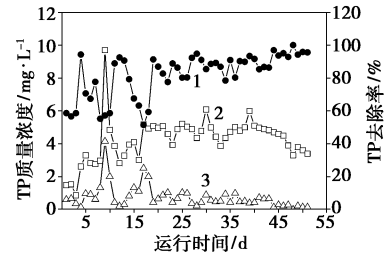
图 4 系统 TN 进水、出水及去除效果图

由图 4 可以看到, 当碳/氮值保持在 7 ~ 15 时, 缺氧区溶解氧质量浓度保持在 0.2 ~ 0.4 mg/L 时, 通过 2 个月的连续监测数据表明, 虽然在前期由于运行状态的不稳定, 总氮的去除效果有一些波动, 但大部分时间总氮的去除率在 80% 以上, 出水 TN 的质量浓度低于 10 mg/L, 说明系统中发生了同步硝化和反硝化, 脱氮效果较好。

2.3 磷的去除

由于该一体化装置有厌氧区, 在厌氧状态下, 活性污泥中的聚磷菌能将体内积聚的聚磷分解, 分解

产生的能量部分供聚磷菌生存, 另一部分能量供聚磷菌主动吸收乙酸苷转化为聚 β -羟基丁酸(PHB) 的形态储藏于体内, 聚磷分解形成的无机磷释放回污水中。随后当混合液进入好氧曝气区后, 聚磷菌将储存于体内的 PHB 进行好氧分解并释出大量能量供聚磷菌增殖, 部分供其主动吸收污水中的磷酸盐, 以聚磷的形式积聚于体内, 从而达到除磷的目的。OCD 处理系统对 TP 的处理效果如图 5 所示。



1—去除率;2—进水;3—出水

图 5 系统 TP 进水、出水及去除效果图

从 50 多天的试验结果可知, 当保持污泥龄为 15 d 时, 进水总磷的质量浓度在 2 ~ 6 mg/L 变化时, 出水平均质量浓度小于 1 mg/L, 平均去除率为 90% 左右, 说明装置中厌氧与好氧区的交替存在有利于聚磷菌的生长, 能够进行生物除磷。从图 5 的试验结果还可以看到, 在前 20 天系统除磷效果不稳定, 其原因主要是系统反硝化作用不稳定, 硝酸盐的大量存在使得反硝化菌快速增长, 从而和聚磷菌争夺碳源, 抑制其生长和释放磷, 所以去磷效果不理想。在其后的试验阶段, 严格控制各区的 DO 分布, 使反硝化作用得到加强, 缺氧出水的硝酸盐氮得到有效的消除, 从而保证了除磷效果的稳定性。

2.4 悬浮性固体的去除

一体化装置中污泥回流的主推动力由分离器内能量水平相对较低的水流和主沟内能量较高的水流之间产生的压力差所形成的抽吸作用^[13]。该装置中的沉淀池具有其特殊的设计, 采用多斗式沉淀池, 如图 6 所示。混合液从沉淀池底部进入沉淀池多斗后, 混合液中的悬浮颗粒物受到自身的重力、水流向上的冲击力和摩擦力等作用, 当沉淀池中混合液向上的冲击力和污泥颗粒的重力相等时, 混合液达到一种平衡状态。多斗倾角为其中一个关键性因素, 当倾角过大时水流向上的冲击力会大于重力, 倾角过小则自身重力沿斜板方向的分量不足以抵消其他力沿该方向的合力而不能向下滑动^[14]。该装置中的多斗倾角为 60°, 当进水流量为 20 L/h, 通过将近 3 个月的出水 SS 监测结果表明, SS 的质量浓度为 5 ~ 15 mg/L 的出现频率较高, 说明分离效果较好。

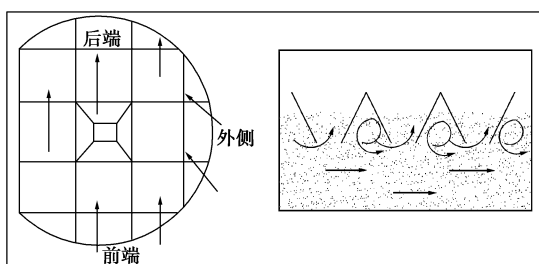


图 6 多斗式沉淀池示意图

在试验期间,经过观察可以发现,通过把好氧区分隔为曝气区(好氧 B 区)和过流区(好氧 A 区)并采用气升式曝气,好氧 B 区的曝气对沉淀池基本无影响。沉淀分离器内存在一定厚度的悬浮层,且泥水界面清晰。污泥层高度在沉淀池中有所不同,靠近好氧区附近的污泥斗悬浮层较薄,远离好氧区的悬浮层较厚,这是由于泥水混合物(混合液)由靠近好氧区的一侧即外侧进入沉淀池,故外侧的水流推动力要强于内侧,使得悬浮层更易于被水流推走,而内侧的污泥由于推流作用小而易于沉积。沉淀池中的污泥层处于运动状态,纵向上存在污泥层的翻滚上浮和下沉;沿水流方向存在水平流动且流速后端大于前端(见图 6)。

2.5 系统污泥特性

从某市第一污水处理厂接种的污泥经过一周的污泥驯化后,逐渐适应了系统的环境,活性污泥呈黄褐色、絮粒大、边缘清晰、结构紧密,污泥的沉降性好,没有发生污泥膨胀现象。系统运行监测期内,每天对装置内 3 个区的活性污泥进行一次镜检。系统开始运行阶段,由于生存环境的剧烈变化以及装置的调试,导致微型动物特别是其中的游动型纤毛虫数量骤减。随着运行时间的增加,微型动物的数量趋于平稳,系统中生物相丰富,出现少量的累枝虫、鞭毛虫、卑怯管虫、线虫、轮虫、水熊等,中等数量的钟虫、楯纤虫及大量的藻类。系统中微型动物优势种群及其数量随着系统的变化呈现一定的规律性。游泳型纤毛虫、钟虫、吸管虫和轮虫交替成为优势种群。说明这种厌氧、缺氧和好氧相交替的装置结构能够产生丰富的生物物种,并使得生物系统保持稳定变化。

3 结论

通过对新型厌氧一体化生物反应器处理生活污水进行连续的监测实验研究,笔者得出以下结论:

(1)采用气升式曝气,不但能减少混合液在装置内的流动阻力,而且可促进纵向上的湍流,使得混合

液均匀混合。这种新型一体化工艺装置结构紧凑,构筑物和设备少,不设单独的二沉池,节省占地面积和基建费用。

(2)在污泥龄为 15 天左右,进水流量为 20 L/h,水力停留时间为 20 h 的条件下,COD 去除率达 95%,氨氮去除率达 95%,总氮和总磷的平均去除率分别在 80% 和 90% 左右,处理效果稳定可靠,出水水质较好,完全符合国家污水综合排放标准(GB 18918—2002)一级标准(B)规定。

(3)试验表明,该生物反应器的中心岛多斗式沉淀池分离效果较好,在进水流量为 20 L/h 时,出水 SS 的质量浓度为 5~15 mg/L,沉淀池内部有明显泥水分层现象。系统内生物相丰富,其变化具有一定的规律性。装置的结构设计适合微生物的生长,利于提高生活污水处理效能。

参考文献

- [1] 蒋展鹏,管运涛,师绍琪.缺氧酸化的一体化 A/O 反应器处理生活污水试验钟燕敏[J].水处理技术,2004,30(3):147-149.
- [2] 向仁军,张在峰,李和平.一体化生物除磷脱氮工艺装置[J].中国给水排水,2000,16(4):14-16.
- [3] 王凯军.曝气、沉淀一体化活性污泥工艺设计方法和问题讨论[J].给水排水,1999,25(3):12-15.
- [4] 邓荣森,俞天明,王涛,等.新型一体化氧化沟工艺的节能特点[J].中国给水排水,2001,17(10):44-46.
- [5] Xia Shibin, Lin Junxin. An innovative integrated oxidation ditch with vertical circle for domestic wastewater treatment process [J]. Biochemistry, 2004(39): 1111-1117.
- [6] 郭海燕,周集体,姜苏,等.一体化生物膜反应器处理生活污水试验研究[J].环境污染与防治,2004,26(6):437-440.
- [7] Bernet N, Delgenes N, Akunna J C, et al. Combined anaerobic-aerobic SBR for the treatment of piggery wastewater[J]. Water Research, 2000, 34(2): 611-619.
- [8] Casellas M, Dagot C, Baudu M. Set up and assessment of a control strategy in a SBR in order to enhance nitrogen and phosphorus removal[J]. Process Biochemistry, 2006, 41(12): 1994-2001.
- [9] Hu Linlin, Wang Jianlong, Wen Xianghua, et al. The formation and characteristics of aerobic granules in sequencing batch reactor(SBR) by seeding anaerobic granules[J]. Process Biochemistry, 2005, 40(11): 5-11.
- [10] 李德豪,周锡堂,林培喜,等.一体化 OCO 工艺处理生活污水研究[J].给水排水,2004,30(8):17-20.
- [11] 吕庆洪.一体化氧化沟流态研究及一体化 OCO 工艺试验[D].成都:四川大学,2004.
- [12] 张望军.OCO 工艺对城市污水的处理[J].给水排水,2000,26(3):1-2.
- [13] 邓荣森,李烈锋,王涛,等.侧沟式固液分离器强化污泥回流研究[J].重庆建筑大学学报,2004,26(4):66-69.
- [14] 王秀衡,孙卫东,刘俊新,等.斜板沉淀池在一体化氧化沟中的作用[J].中国给水排水,2001,17(11):68-71. ■