

连续流间歇曝气氧化沟处理 生活污水脱氮除磷研究

乔海兵^{1,2} 王淑莹^{1*} 李桂荣³ 侯红勋¹ 彭永臻¹ 郭东良²

(1 北京工业大学北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100022;

2 河南省城市规划设计研究院有限公司, 郑州 450000; 3 郑州大学环境与水利工程学院, 郑州 450002)

摘 要 为了提高低 C/N (3.0~3.5) 生活污水的脱氮除磷效率, 对设置选择池和厌氧池的氧化沟工艺采用了微孔曝气加搅拌的实验方式和连续流间歇曝气的运行方式, 通过对总循环周期 (t_c)、曝气率 (f_a) 以及出水稳定性的分析讨论, 得出 TN 负荷在 $0.02 \text{ kg N/kg MLSS} \cdot \text{d}$ 下, 控制氧化沟曝气时间与总停留时间比在 40% 左右时, 能实现 80% 以上的除氮率和 35% 以上的除磷率。与连续曝气氧化沟相比, 不仅出水水质更好, 而且节省能量。

关键词 间歇曝气 脱氮除磷 氧化沟

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1008-9241(2006)07-0011-04

Study on nitrogen and phosphorus removal from domestic sewage in oxidation ditch with intermittent aeration

Qiao Haibing^{1,2} Wang Shuying¹ Li Guirong³ Hou Hongxun¹ Peng Yongzhen¹ Guo Dongliang²

(1. Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering,
Beijing University of Technology, Beijing 100022;

2. Henan City Planning Design & Research Institute Co. Ltd., Zhengzhou 450000;

3. School of Environment and Water Conservancy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002)

Abstract In order to improve the nitrogen and phosphorus removal efficiency of domestic sewage with low C/N ratio, an oxidation ditch with selector and anaerobic tank is studied. During the study, the aeration and agitation are separated, and continuous flow and intermittent aeration are carried out. Through the discussion of the total cycle time (t_c), aeration ratio (f_a) and effluent stability, we can conclude that about 40% aeration time is needed when TN load is $0.02 \text{ kg N/kg MLSS} \cdot \text{d}$ to remove more than 80% of nitrogen and 35% of phosphorus. Comparing with the continuous aeration system, the intermittent aeration system can obtain better effluent quality and save energy.

Key words intermittent aeration; nitrogen and phosphorus removal; oxidation ditch

近年来,随着水体富营养化的加剧,氮磷的排放标准越来越严格,但是由于生活污水中碳源不足,氮源过量已较为普遍,这对脱氮除磷提出了更高的要求,如何在低 C/N 下高效脱氮除磷已成为研究的热点。

金春姬等^[1]研究了容积为 4.6 m^3 的间歇曝气池,得出低 C/N (3.0 以下) TN 负荷 $0.05 \text{ kg N/kg MLVSS} \cdot \text{d}$ 下,当曝气时间与总反应时间比在 0.5 以上时, TN 去除率可达 40%。Lyunook Kim 等^[2]利用有效容积为 4 L 的交替式缺氧好氧反应器进行研究,表明该系统可将生活污水中的 TN 浓度降低到 8 mg/L 以下。喻文熙等^[3]利用容积为 40 L 的反应器对城市污水进行连续流间歇曝气实验,结果表明,该法简便易行、能耗低、有机物和氮氮去除稳定,且

有较高的脱氮能力。除此之外,邓荣森等^[4]对四川某污水厂进行了连续流间歇曝气运行,提高了系统的氧利用率,取得了 75% 的总氮去除率。在氧化沟改进方面,汪永红等^[5]提出了微孔曝气器加搅拌的氧化沟工艺,该工艺可使池体有效水深达 6 m 以上,既减少占地又提高了氧利用率。Xiaodi Hao 等^[6,7]指出氧化沟内曝气和搅拌分解可以在空间上形成缺

基金资助:国家自然科学基金资助项目 (50521140075);北京市科委国际合作项目

收稿日期:2005-04-25;修订日期:2005-10-11

作者简介:乔海兵 (1979~), 硕士,主要从事水污染控制工程设计工作。Email: bridges2592@sina.com

*通讯联系人, wsy@bjut.edu.cn

氧区,有利于提高反硝化速率。

然而,目前较少有人对曝气搅拌分离的改良型氧化沟工艺进行连续流间歇曝气实验研究,因此本实验在工艺设计上,采用微孔曝气加搅拌推流,将氧化沟的充氧和推流功能分解开。在运行方式上,针对前期连续曝气试验 TN 去除率不高 (55%左右) 的状况,进行了连续流间歇曝气实验。这是将连续流活性污泥法和 SBR 法相结合的实验方式。本研究探讨间歇曝气周期对该氧化沟工艺脱氮除磷的影响。

1 材料与方法

1.1 实验污水

实验采用的生活污水是北京工业大学家属区化粪池污水,其特点是 C/N 较低,污泥中有机质含量高,MLVSS/MLSS在 0.8 以上,具体水质情况如表 1 所示。

表 1 生活污水水质表

Table 1 Water quality of sewage		
项 目	浓度范围 (mg/L)	均值 (mg/L)
COD	201.4 ~ 250.5	225.9
NH ₄ ⁺ -N	58.63 ~ 67.64	63.11
NO ₃ ⁻ -N	0.78 ~ 1.18	0.98
TN	61.38 ~ 70.66	66.02
PO ₄ ³⁻ -P	5.39 ~ 6.45	5.92

1.2 实验装置

本实验装置由前置选择池和厌氧池的氧化沟 (252 L) 和沉淀池 (100 L) 组成,模型均为有机玻璃制成。实验装置见图 1。进水连同回流污泥的 30% 从选择池进入,回流污泥的 70% 进入厌氧池。混合液从厌氧池的狭缝 (由于本实验装置狭缝偏大,造成厌氧池与氧化沟返混,所以放磷效果不佳,进而影响系统除磷) 进入氧化沟。采用微孔曝气头曝气,

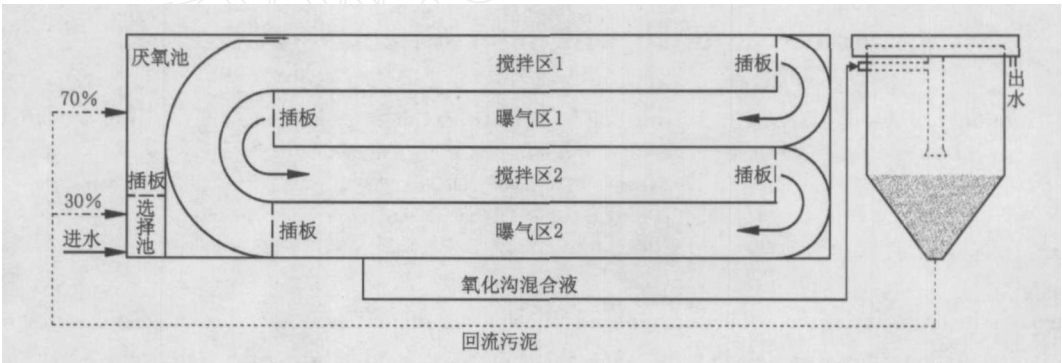


图 1 实验装置图

Fig 1 Schematic diagram of oxidation ditch process

非曝气区采用搅拌器搅拌推流并防止污泥下沉。曝气区和搅拌区用插板分割,插板上留有直径为 25 mm 的孔 2 个。利用定时器控制间歇曝气周期,模型中安装了 DO、ORP 及 pH 探头连续监测氧化沟出水端溶解氧、氧化还原电位及酸碱度值。

1.3 测试指标及方法

表 2 测试指标及方法

Table 2 Analytical items and methods

测试指标	分析方法
COD	重铬酸钾快速测定法
NH ₄ ⁺ -N	纳氏试剂光度法
NO ₃ ⁻ -N	麝香草酚光度法
TN	碱性过硫酸钾消解光度法
PO ₄ ³⁻ -P	抗坏血酸 钼蓝分光光度法
MLSS	104 烘 4h 恒重
DO/pH/ORP	WTW 在线监测仪

1.4 实验运行

为了保证系统中硝化菌的优势生长及维持一定的污泥浓度 (MLSS = 4500 mg/L),泥龄控制在 16 d,从沉淀池底部连续排泥。污泥回流比 100%,水力停留时间 15.7 h,其中选择区 0.4 h,厌氧区 1.3 h,氧化沟 14 h。沉淀池停留时间 4.5 h。由于实验所用污水 C/N 较低,而且污泥中有机质较高 (MLVSS/MLSS = 0.88),再加上氧化沟的低负荷和完全混合的特点,实验过程中 SVI 一直维持在 200 L/mg 左右。实验过程中恒定曝气量。实验中出水取自沉淀池出水,进水和出水均是连续 14 h 的每 2 h 的混合样,所采用的曝气时间/停气时间分别为 1.5 h/1.5 h、1 h/2 h、2 h/2 h、1.5 h/2.5 h,标定为阶段 I、II、III,总循环周期 (t_c) 分别为 3、3.4 和 4 h,曝气率 (f_a) 分别为 0.5、0.33、0.5 和 0.38。

2 结果与分析

2.1 氮磷污染物去除总体特性

整个研究阶段历时 4 个月,不同间歇曝气周期系统出水 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 TN 和 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 浓度如图 2 所示。从图中可见,系统总体上维持较低的氨氮出水浓度 ($<3 \text{ mg/L}$),其中阶段 I、II 均小于 1 mg/L ,这说明系统的硝化效果很好。阶段 III、IV 总氮出水维持在 25 mg/L 左右,阶段 I 总氮出水在 15 mg/L 左右,而阶段 II 总氮出水在 15 mg/L 以下。4 个阶段磷酸盐出水均在 2.5 mg/L 以上,随着停气期的增加,磷酸盐出水浓度增加,阶段 IV 最高达到了 4.0 mg/L 。从表 3 可知,阶段 I、II 的总氮去除率只有 60% 左右,阶段 III 最高达到了 82.1%。磷酸盐的去除率总体都不高,基本上在 40% 左右。

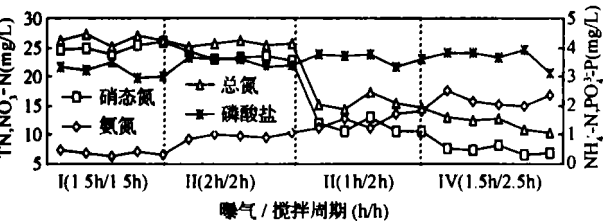


图 2 不同间歇曝气周期出水氨氮、硝态氮、总氮及磷酸盐浓度变化

Fig 2 Dynamics of ammonia nitrogen, nitrate and phosphate concentration in the effluent during different intermittent aeration cycles

表 3 4 阶段下氮磷去除率情况

Table 3 N&P removal efficiency in 4 steps

阶段	总氮平均去除率 (%)	磷酸盐平均去除率 (%)
I	60.8	44.5
II	61.2	43.1
III	74.2	39.5
IV	82.1	38.1

2.1.1 总循环周期 (t_c) 对系统脱氮的影响

由 1.5 h/1.5 h 和 2 h/2 h 阶段的运行结果可知,在曝气率 ($f_a = 0.5$) 相同的情况下,系统的脱氮率变化不大,均为 60% 左右,但是出水中氨氮和硝态氮的比例有所不同,即随着 t_c 的增大,氨氮的浓度有所升高,同时硝态氮的浓度有所降低。其原因为 t_c 较小,周期较短,好氧和缺氧交替频率较高,系统中的 DO 水平相对较高,有利于硝化,同时也有利于消除停气期的短流影响。然而,周期较短也会导致系统从好氧到缺氧环境的转变不彻底,造成硝态氮的累积。

2.1.2 f_a 对系统脱氮的影响

由 1.5 h/1.5 h 和 1 h/2 h 阶段的运行结果可知,在 t_c 一定的情况下,随着 f_a 从 0.5 降低到 0.33,系统的脱氮率从 60.8% 升高到 74.2%。2 h/2 h 和 1.5 h/2.5 h 阶段也证明 t_c 一定, f_a 从 0.5 降低到 0.375,脱氮率从 61.2% 升高到 82.1%。这是因为随着停气期的增加,进水中的有机物进入沟内,作为反硝化的外碳源,从而使反硝化速率加快。

2.1.3 4 种工况下除磷因素影响

从图 2 可知,各种工况下磷的去除率均在 45% 以下,除磷率较低主要有以下原因: (1) 系统 C/N 较低,碳源不充分; (2) 回流污泥带入前置缺氧区厌氧区 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度较高,致使厌氧池内硝态氮超过 0.5 mg/L ,厌氧区难以满足厌氧条件,磷释放不充分; (3) 在停止曝气阶段,氧化沟内 DO 浓度较低,对聚磷菌吸收磷有一定抑制作用; (4) 污泥龄较长,排泥量少。

阶段 III 除磷率相对高,达到了 44.5% 左右,因为该阶段 f_a 高,曝气期 DO 相对较高,有利于微生物好氧吸磷,而停气期沟内硝态氮浓度较高,可能发生缺氧吸磷,避免造成厌氧状态进而二次释磷。

曝气率同为 0.5 的阶段 II,除磷率为 43.1%,比阶段 III 略低,这是好氧缺氧频率较低, DO 相对较低,吸磷不充分。阶段 IV 除磷更差,低于 40%,这是由于 f_a 低,好氧吸磷不佳,同时脱氮效果较好,沟内硝态氮低,容易造成停气期的厌氧环境,导致二次放磷。

2.2 运行稳定性

为了进一步探讨 4 种工况下的曝气期和停气期出水波动性情况,试验中每隔一定时间对出水中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 TN 和 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 浓度进行测定,结果如图 3 所示。

由图 3 可见,整体上出水在曝气和停气阶段波动性不大,各项指标变化幅度均在 2 mg/L 以内,主要原因分析如下: (1) 氧化沟的停留时间长达 15.7 h,沟内抗冲击负荷能力强; (2) 系统一直处于膨胀状态 ($\text{SVI} = 200$ 左右),故停气阶段,沟内污泥仍呈悬浮状态,克服了短流的影响; (3) 停气期氧化沟出水为混合液上清液,因此在污泥回流比不变时,停气期沟内污泥浓度略高于曝气期,较高的污泥浓度有利于硝化和反硝化。

总之,由于阶段 III、IV 过程的停气期相对较长,出水的稳定性要劣于阶段 I、II。

2.3 DO 、 ORP 和 pH 控制

实验过程中将在线监测仪表放置在氧化沟出水端,各曝气、停气周期各指标的变化如表 4 所示。

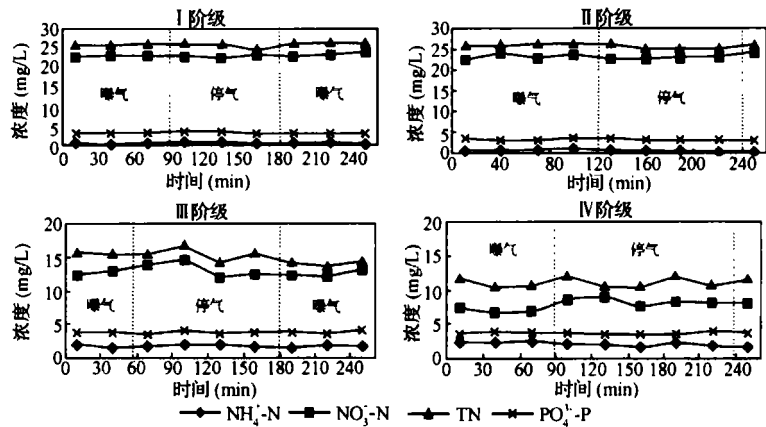


图 3 4个阶段出水中氨氮、硝态氮、总氮和磷酸盐浓度随时间变化

Fig 3 Dynamics of ammonia nitrogen, nitrate and phosphate concentration in the effluent along with the time during four different conditions

表 4 4种模式下 DO、ORP和 pH数据表

Table 4 Data of DO, ORP and pH under four models

项 目	(1.5 h/1.5 h)	(2 h/2 h)	(1 h/2 h)	(1.5 h/2.5 h)
DO (mg/L)	曝气结束 3.0~3.5	2.7~3.0	1.8~2.0	1.2~1.5
	停气结束 0.02~0.03	0.02~0.03	0.02~0.03	0.02~0.03
ORP (mV)	曝气结束 103~105	89~95	64~68	52~58
	停气结束 -78~-82	-89~-92	-105~-106	-150~-157
pH	曝气结束 7.18~7.19	7.21~7.25	7.16~7.19	7.43~7.44
	停气结束 7.43~7.45	7.46~7.48	7.51~7.54	7.53~7.54

由表 4 可见,随着曝气率 f_a 的减小和总循环周期 t_c 的增加,曝气结束时 DO 浓度递减,阶段 曝气结束时 DO 相对较低,此时发现氨氮浓度较高,因此可以考虑 DO 作为硝化是否完全的模糊控制点。

、阶段 ORP 值均在 -100 mV 以下,因而氧化沟内可能出现二次放磷现象,此时磷酸盐浓度较高。

曝气期硝化作用占优势,消耗碱度,故曝气结束时, pH 最低,停气期反硝化占优,产生碱度,故停气末, pH 最高。4 个阶段均反映了此规律。

3 结 论

通过实验研究表明,连续流间歇曝气氧化沟工艺不仅节约能耗,而且能够达到较高的总氮去除率和较好的出水稳定性。本文通过 4 种工况平行实验,得出:

(1)在 TN 负荷为 0.02 kg N/kgMLSS · d 下,间歇曝气氧化沟系统曝气时间比控制在 40%左右,可以达到 80%以上的除氮率。

(2)将曝气和搅拌分开的改良型氧化沟,不仅能够增大池深,减小占地面积,防止底部积泥,同时也有利于实现曝气和停气交替的运行方式,从而达到较好的处理效果。

(3)进一步寻找 DO、ORP 和 pH 在连续流间歇曝气过程中的变化规律,从而变实时控制为在线控制将具有非常重要的意义。

参 考 文 献

[1] 金春姬,余宗莲,等. 间歇曝气周期对低 C/N 比污水生物脱氮的影响. 环境污染与防治, 2003, 25 (5): 257 ~ 258

[2] I Lyunook Kim, Oliver J. Hao pH and oxidation-reduction potential control strategy for optimization of nitrogen removal in an alternating aerobic-anoxic system. Water Sci Technol, 2001, 73 (1): 95 ~ 102

[3] 喻文熙,高廷耀. 连续流间歇曝气工艺研究. 中国给水排水, 1997, 13 (4): 13 ~ 16

[4] 邓荣森,肖海文,等. 四川省城市污水处理示范工程一体化氧化沟. 给水排水, 2001, 27 (4): 1 ~ 5

[5] 汪永红,何睦盈,区岳州. 采用微孔曝气器的氧化沟实例分析. 中国给水排水, 2003, 19 (2): 75 ~ 76

[6] Xiaodi Hao, Doddema H. J. Simultaneous nitrification and denitrification in a pasveer oxidation ditch Bioresource Technology, 1997, 59 (1): 207 ~ 215

[7] Hao X., Doddema H. J. Use of contact tank to enhance denitrification in oxidation ditches Water Sci Tech, 1996, 34 (1 ~ 2): 195 ~ 202